



研究施設等廃棄物浅地中埋設処分対象廃棄体等に係る 荷重変形特性の検討

Investigation on Deformation Property of Waste Containers for
Near Surface Disposal of Low-level Radioactive Wastes Generated from Research,
Industrial and Medical Facilities

仲田 久和 天澤 弘也 坂井 章浩 山本 正幸
坂本 義昭

Hisakazu NAKATA, Hiroya AMAZAWA, Akihiro SAKAI, Masayuki YAMAMOTO
and Yoshiaki SAKAMOTO

埋設事業推進センター

Low-level Radioactive Wastes Disposal Project Center

March 2012

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2012

研究施設等廃棄物浅地中埋設処分対象廃棄体等に係る荷重変形特性の検討

日本原子力研究開発機構 埋設事業推進センター

仲田 久和、天澤 弘也、坂井 章浩、山本 正幸⁺、坂本 義昭

(2011年12月12日受理)

日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」という。)が設置を計画している浅地中埋設処分施設に埋設する廃棄体等は、原子炉等規制法の第2種廃棄物埋設規則に規定された廃棄体等の性能に係る技術基準に適合していることが求められる。技術基準の一つには、「廃棄体が埋設された場合において、受けるおそれのある荷重に耐える強度(耐埋設強度)を有すること。」が規定されていることから、国による廃棄体確認においては廃棄体等の製作者はこれを定量的に証明することが必須の条件となる。

本報告書では、原子力機構が設置を計画している浅地中埋設処分施設のうち、耐埋設強度が要求されるコンクリートピット埋設設備(俵積み方式)に埋設する廃棄体等を対象として2000ドラム缶、2000コンクリート内張ドラム缶、2000セメント均質・均一固化体、角型容器等の実載荷試験を行い、想定載荷荷重に対する廃棄体等単体での変位量及びひずみ量を測定し、その結果を基に廃棄体等の積載条件によるそれぞれの試験用廃棄体等の耐埋設荷重を設定した。試験の結果、耐埋設荷重の一番小さいものが2000ドラム缶(M級)で18kN、最大となるものが角型容器で400kNであった。

本報告書は、三菱マテリアル株式会社が独立行政法人日本原子力研究開発機構との契約により実施した業務成果に基づくものである。

原子力科学研究所(駐在):〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

* 三菱マテリアル株式会社 エネルギー事業センター

Investigation on Deformation Property of Waste Containers for Near Surface Disposal of
Low-level Radioactive Wastes Generated from Research, Industrial and Medical Facilities

Hisakazu NAKATA, Hiroya AMAZAWA, Akihiro SAKAI, Masayuki YAMAMOTO*
and Yoshiaki SAKAMOTO

Low-level Radioactive Wastes Disposal Project Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 12, 2011)

The waste packages, which Japan Atomic Energy Agency plans to dispose of, must be satisfied the technical standard specified by the Ordinance of Ministry of Economy, Trade and Industry. One of the technical standards is that the waste package must have enough strength to withstand the load when it is disposed of finally by burial method. Japan Atomic Energy Agency is required to prove the compliance of the waste package with the technical standard quantitatively because we shall obtain the confirmation of the regulatory authority.

Accordingly the static load test was conducted to evaluate compressive strength and deformation performance of waste containers. The targets were 200liter drum, concrete reinforced 200liter drum, 200liter drum containing cement solidified product and 1m³ cubic container which are expected to emplace into a concrete pit type disposal facility. Compression apparatuses which can imitate a loading condition in the facility were used.

Based on the test result, 200 liter drum(M-class) has a minimum strength of 18kN and 1m³ cubic container has a maximum strength of 400kN.

Keywords:Waste Package, Disposal Facility, Compressive strength

This work was based on the study performed by Mitsubishi Materials Corporation under contract with the Japan Atomic Energy Agency.

* Energy Project & Technolgy Center,Mitsubishi Materials Corporation

目次

1. 検討の経緯及び目的	1
2. 試験体	2
3. 試験方法	4
4. 試験結果	8
5. 耐埋設荷重の設定	21
6. まとめ	23
参考文献	23
付録巻末資料	181

Contents

1. Background and Objective	1
2. Test Objects	2
3. Test method	4
4. Test results	8
5. Evaluation of anti-load strength	21
6. Summry	23
References	23
Appendix	181

This is a blank page.

図表リスト

- 表 1 試験体一覧表
- 表 2 骨材の諸元
- 表 3 D-20 型のコンクリートの配合
- 表 4 D-20 型のフレッシュコンクリートの試験結果
- 表 5 D-50 型のコンクリートの配合
- 表 6 D-50 型のフレッシュコンクリートの試験結果
- 表 7 均質固化体のセメントの配合
- 表 8 均質固化体のコンクリートの試験結果
- 表 9 ドラム廃棄体定置時の離隔距離
- 表 10 積載段数と傾斜量の関係
- 表 11 各試験体における変形量に基づく耐荷重
- 表 12 各試験体におけるひずみ量に基づく耐荷重
- 表 13 各試験体の耐荷重
- 図 1 載荷試験装置概要図(ドラム缶用特殊治具を装着した場合)
- 図 2 円形ドラムの特殊治具
- 図 3 円形ドラムの設置状況
- 図 4 載荷試験装置概要図(角型容器用特殊治具を装着した場合)
- 図 5 角型容器の上部の載荷梁と特殊治具
- 図 6 角型容器の設置状況
- 図 7 計測システム
- 図 8 ドラム缶全体の変位計の計測位置
- 図 9 ドラム缶側部輪帯の変位計の計測位置
- 図 10 ドラム缶チャイム及び蓋の変位計の計測位置
- 図 11 ドラム缶の変位計の設置状況
- 図 12 角型容器上蓋部及び底部の変位計の設置状況
- 図 13 角型容器側部の変位計の設置位置
- 図 14 加力治具接触点のドラム缶内部及び外部のひずみ計の設置位置
- 図 15 試験体底部チャイムの外部ひずみ計の設置位置
- 図 16 ドラム缶蓋輪帯部のひずみ計の設置位置
- 図 17 ドラム缶蓋部付近のひずみ計の設置位置
- 図 18 加力治具接触点の内貼りコンクリートドラム缶内部及び外部のひずみ計の設置位置
- 図 19 試験体底部チャイムの外部及び内貼りコンクリートのひずみ計の設置位置
- 図 20 内貼りコンクリートドラム缶輪帯部のひずみ計の設置位置
- 図 21 内貼りコンクリートドラム缶蓋部付近のひずみ計の設置位置
- 図 22 加力治具接触点のセメント固化体内部及び外部のひずみ計の設置位置
- 図 23 試験体(セメント固化体)底部チャイムの外部ひずみ計の設置位置
- 図 24 ドラム缶(セメント固化体)輪帯部のひずみ計の設置位置
- 図 25 セメント固化体頂面及びドラム缶蓋部付近のひずみ計の設置位置
- 図 26 角型容器の蓋部及び底部の外部鋼板のひずみ計の設置位置
- 図 27 角型容器の蓋部の溝型鋼板上のひずみ計の設置位置
- 図 28 角型容器の側部鋼板中央部及び縦リブ上のひずみ計の設置位置

- 図 29 角型容器の底部の溝型鋼板上のひずみ計の設置位置
- 図 30 空ドラム缶 H 級の鉛直変位
- 図 31 空ドラム缶 H 級のチャイム(17, 18, 19)及び蓋(20,21,22)の変位
- 図 32 空ドラム缶 H 級のチャイム部淵周(5,8)及び輪帯(6, 7, 9, 10)の上下部の変位
- 図 33 空ドラム缶 H 級のチャイム部淵周(11,12)及び輪帯(13, 14, 15, 16)の側部の変位
- 図 34 空ドラム缶 H 級の裁荷後の変形の状況
- 図 35 空ドラム缶 H 級のチャイムの鉛直方向ひずみ
- 図 36 空ドラム缶 H 級のチャイムの水平方向ひずみ
- 図 37 空ドラム缶 H 級の蓋の鉛直方向ひずみ
- 図 38 空ドラム缶 H 級のチャイム部淵周の円周方向のひずみ
- 図 39 空ドラム缶 H 級の第一輪帯の円周方向のひずみ
- 図 40 空ドラム缶 H 級の第二輪帯の円周方向のひずみ
- 図 41 空ドラム缶 H 級の治具接触点における円周方向のひずみ
- 図 42 空ドラム缶 H 級の治具接触点における軸方向のひずみ
- 図 43 空ドラム缶 H 級の治具接触点におけるドラム缶側面の円周向のひずみ
- 図 44 空ドラム缶 H 級の治具接触点におけるドラム缶側面の軸周向のひずみ
- 図 45 空ドラム缶 H 級の蓋付近における円周方向のひずみ
- 図 46 空ドラム缶 H 級の蓋付近における軸方向のひずみ
- 図 47 空ドラム缶 M 級の鉛直変位
- 図 48 空ドラム缶 M 級のチャイム(17, 18, 19)及び蓋(20,21,22)鉛直変位
- 図 49 空ドラム缶 M 級のチャイム部淵周(5, 8)及び輪帯(6,7,9,10)の上下部の変位
- 図 50 空ドラム缶 M 級のチャイム部淵周(11, 12)及び輪帯(13,14,15,16)の側部の変位
- 図 51 空ドラム缶 M 級の裁荷後の変形の状況
- 図 52 空ドラム缶 M 級のチャイムの鉛直方向ひずみ
- 図 53 空ドラム缶 M 級のチャイムの水平方向ひずみ
- 図 54 空ドラム缶 M 級の蓋の鉛直方向ひずみ
- 図 55 空ドラム缶 M 級のチャイム部淵周の円周方向のひずみ
- 図 56 空ドラム缶 M 級の第一輪帯の円周方向のひずみ
- 図 57 空ドラム缶 M 級の第二輪帯の円周方向のひずみ
- 図 58 空ドラム缶 M 級の治具接触点における円周方向のひずみ
- 図 59 空ドラム缶 M 級の治具接触点における軸方向のひずみ
- 図 60 空ドラム缶 M 級の治具接触点におけるドラム缶側面の円周方向のひずみ
- 図 61 空ドラム缶 M 級の治具接触点におけるドラム缶側面の軸方向のひずみ
- 図 62 空ドラム缶 M 級の蓋付近における円周方向のひずみ
- 図 63 空ドラム缶 M 級の蓋付近における軸方向のひずみ
- 図 64 D-20 の鉛直変位
- 図 65 D-20 のチャイム(17, 18, 19)及び蓋(20, 21, 22)の鉛直変位
- 図 66 D-20 のチャイム部の淵周(5, 6)及び輪帯(6, 7, 8, 9)の上下部の変位
- 図 67 D-20 のチャイム部の淵周(11, 12)及び輪帯(13,14,15,16)の側部の変位
- 図 68 D-20 の裁荷後の変形の状況
- 図 69 D-20 のチャイムの鉛直方向ひずみ
- 図 70 D-20 のチャイムの水平方向ひずみ
- 図 71 D-20 の蓋の鉛直方向ひずみ

- 図 72 D-20 のチャイム部の内貼りコンクリートの鉛直ひずみ
- 図 73 D-20 のチャイム部の内貼りコンクリートの水平方向ひずみ
- 図 74 D-20 のチャイム部淵周の円周方向ひずみ
- 図 75 D-20 の第一輪帯の円周方向ひずみ
- 図 76 D-20 の第二輪帯の円周方向ひずみ
- 図 77 D-20 の治具接触点における円周方向ひずみ
- 図 78 D-20 の治具接触点における軸方向ひずみ
- 図 79 D-20 の治具接触点におけるドラム缶側面の円周方向ひずみ
- 図 80 D-20 の治具接触点におけるドラム缶側面の軸方向ひずみ
- 図 81 D-20 の蓋付近における円周方向ひずみ
- 図 82 D-20 の蓋付近における軸方向ひずみ
- 図 83 D-50-50 の鉛直変位
- 図 84 D-50-50 のチャイム(17,18,19)及び蓋(20, 21, 22)の鉛直変位
- 図 85 D-50-50 のチャイム部の淵周(5, 6)及び輪帯(6, 7, 8, 9)の上下部の変位
- 図 86 D-50-50 のチャイム部の淵周(11,12)及び輪帯(13,14,15,16)の側部の変位
- 図 87 D-50-50 の裁荷後の変形の状況
- 図 88 D-50-50 のチャイムの鉛直方向ひずみ
- 図 89 D-50-50 のチャイムの水平方向ひずみ
- 図 90 D-50-50 の蓋の鉛直方向ひずみ
- 図 91 D-50-50 のチャイム部の内貼りコンクリートの鉛直ひずみ
- 図 92 D-50-50 のチャイム部の内貼りコンクリートの水平ひずみ
- 図 93 D-50-50 のチャイム部淵周の円周方向ひずみ
- 図 94 D-50-50 の第 1 輪帯の円周方向ひずみ
- 図 95 D-50-50 の第 2 輪帯の円周方向ひずみ
- 図 96 D-50-50 の治具接触点の円周方向ひずみ
- 図 97 D-50-50 の治具接触点の軸方向ひずみ
- 図 98 D-50-50 の治具接触点におけるドラム缶側面の円周方向ひずみ
- 図 99 D-50-50 の治具接触点におけるドラム缶側面の円周方向ひずみ
- 図 100 D-50-50 の蓋付近における円周方向ひずみ
- 図 101 D-50-50 の蓋付近における軸方向ひずみ
- 図 102 D-50-75 の鉛直変位
- 図 103 D-50-75 のチャイム(17, 18, 19)及び蓋(20, 21, 22)の変位
- 図 104 D-50-75 のチャイム部淵周(5, 8)及び輪帯(6, 7, 9, 10)の上下部の変位
- 図 105 D-50-75 のチャイム部淵周(11, 12)及び輪帯(13, 14, 15, 16)の側部の変位
- 図 106 D-50-75 の裁荷後の変形の状況
- 図 107 D-50-75 のチャイムの水平方向ひずみ
- 図 108 D-50-75 のチャイムの鉛直方向ひずみ
- 図 109 D-50-75 の蓋の鉛直方向ひずみ
- 図 110 D-50-75 のチャイム部の内貼りコンクリートの鉛直方向ひずみ
- 図 111 D-50-75 のチャイム部の内貼りコンクリートの水平方向ひずみ
- 図 112 D-50-75 のチャイム部の淵周の円周方向ひずみ
- 図 113 D-50-75 の第一輪帯の円周方向ひずみ
- 図 114 D-50-75 の第二輪帯の円周方向ひずみ

- 図 115 D-50-75 の治具接触点の円周方向ひずみ
- 図 116 D-50-75 の治具接触点の軸方向ひずみ
- 図 117 D-50-75 の治具接触点におけるドラム缶側面の円周方向ひずみ
- 図 118 D-50-75 の治具接触点におけるドラム缶側面の軸方向ひずみ
- 図 119 D-50-75 の蓋付近における円周方向ひずみ
- 図 120 D-50-75 の蓋付近における軸方向ひずみ
- 図 121 セメント均質固化体 5N/mm² の鉛直変位
- 図 122 セメント均質固化体 5N/mm² のチャイム(17, 18,19)及び蓋(20, 21, 22)の変位
- 図 123 セメント均質固化体 5N/mm² のチャイム部淵周(5, 8)及び輪帯(6, 7, 9,10)の上下部の変位
- 図 124 セメント均質固化体 5N/mm² のチャイム部淵周(11, 12)及び輪帯(13, 14, 15, 16)の側部変位
- 図 125 セメント均質固化体 5N/mm² の裁荷後の変形の状況
- 図 126 セメント均質固化体 5N/mm² のチャイムの鉛直方向ひずみ
- 図 127 セメント均質固化体 5N/mm² のチャイムの水平方向ひずみ
- 図 128 セメント均質固化体 5N/mm² の蓋の鉛直方向ひずみ
- 図 129 セメント均質固化体 5N/mm² のチャイム部淵周の円周方向ひずみ
- 図 130 セメント均質固化体 5N/mm² の第1輪帯の円周方向ひずみ
- 図 131 セメント均質固化体 5N/mm² の第2輪帯の円周方向ひずみ
- 図 132 セメント均質固化体 5N/mm² の治具接触点(固化体内部)における円周方向ひずみ
- 図 133 セメント均質固化体 5N/mm² の治具接触点(固化体内部)における軸方向ひずみ
- 図 134 セメント均質固化体 5N/mm² の治具接触点におけるドラム缶側面の円周方向ひずみ
- 図 135 セメント均質固化体 5N/mm² の治具接触点におけるドラム缶側面の軸方向ひずみ
- 図 136 セメント均質固化体 5N/mm² の固化体頂面における水平方向ひずみ
- 図 137 セメント均質固化体 5N/mm² の固化体頂面における鉛直方向ひずみ
- 図 138 セメント均質固化体 5N/mm² の蓋付近における円周方向ひずみ
- 図 139 セメント均質固化体 5N/mm² の蓋付近における軸方向ひずみ
- 図 140 角型容器の蓋部の辺中央部の鉛直変位
- 図 141 角型容器の底部の辺中央部の鉛直変位
- 図 142 角型容器の側面部の面中央部の鉛直変位
- 図 143 角型容器の側面部の面中央部の水平変位
- 図 144 角型容器(上:容器外観、下:蓋裏面)の裁荷後の状況
- 図 145 角型容器蓋部の四辺中央部(s1,s2,s3,s4(鉛直))及び溝型鋼板板上(s8,s9(水平))のひずみ
- 図 146 角型容器蓋部の中央線上(二軸方向)の水平のひずみ
- 図 147 角型容器の側部縦リブ部の鉛直のひずみ
- 図 148 角型容器の側部中央部の鉛直のひずみ
- 図 149 角型容器の底部中央部の鉛直のひずみ
- 図 150 角型容器の底部中心線上(二軸)の水平のひずみ
- 図 151 角型容器の底部の溝型鋼板上の鉛直のひずみ
- 図 152 廃棄体の傾斜量評価に係る概念図
- 図 153 廃棄体の定置条件
- 図 154 廃棄体の定置条件(図 153 をドラム缶の軸方向から着目)

1. 検討の経緯及び目的

日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」という。)は、第 169 回国会において成立した原子力機構法の改正(平成 20 年法律第 51 号)に基づき、原子力機構や国内の研究施設及び RI 利用施設等から発生する低レベル放射性廃棄物(以下、「研究施設等廃棄物」という。)に係る埋設事業の実施主体と位置づけられた。これを受けて原子力機構は、当面、平成 60 年度までに発生が見込まれる浅地中埋設処分対象の廃棄物に係る埋設事業を進める予定である。

現行の原子炉等規制法においては、低レベル放射性廃棄物の浅地中埋設処分に当たって、埋設しようとする廃棄体一体毎に、法律に定める技術基準に適合していることに関することについて、規制当局の確認を受けることが規定されている。この技術基準の一つには、「廃棄体が埋設された場合において、受けるおそれのある荷重に耐える強度(以下、「耐埋設荷重」という。)を有すること。」の旨が規定されている。廃棄体に求める耐埋設荷重とは、廃棄体を埋設処分施設に定置し、空間をモルタルで充填する場合に想定される最大荷重として、ピット内において俵積み完了後に最下段の廃棄体受ける荷重と定義されている¹⁾²⁾³⁾。このため、埋設施設を設計する場合には、廃棄体の有する耐埋設荷重に応じて浅地中埋設処分施設の仕様を検討することが必要となる。

このような状況を踏まえ埋設事業推進センターでは、浅地中埋設処分施設の基本設計に向けた準備の一環として、研究施設等廃棄物の埋設処分に供する浅地中埋設処分施設(俵積み方式のコンクリートピット埋設設備)に埋設する廃棄体等に使用する

- ① 200ℓドラム缶(H級)の空容器(空ドラム缶-H級)
- ② 200ℓドラム缶(M級)の空容器(空ドラム缶-M級)
- ③ 200ℓコンクリート 2cm 内張りドラム缶(D-20 型)
- ④ 200ℓコンクリート 5cm(側部)・5cm(底部)内張りドラム缶(D-50-50 型)
- ⑤ 200ℓコンクリート 5cm(側部)・7.5cm(底部)内張りドラム缶(D-50-75 型)
- ⑥ 固化物の一軸圧縮強度が 5N/mm²の 200ℓセメント均質・均一固化体
(セメント均質固化体 5N/mm²)
- ⑦ 1 m³角型容器(角型容器)

を対象とした実載荷試験を行い、想定載荷荷重に対する変位量及びひずみ量を測定し、その結果を基に廃棄体等の積載条件によるそれぞれの試験用廃棄体等の耐埋設荷重を設定した。

2. 試験体

本試験においては、耐埋設荷重を設定する試験体として研究施設等廃棄物の浅地中埋設処分のうちコンクリートピット処分に用いることが予定されている容器と、濃縮廃液等のセメント固化体の固化物で最も一軸圧縮強度が小さいものと想定される強度のセメント均質・均一固化体で以下のものを対象とした。試験体リストを表1に示す。

2.1 空ドラム缶-H級

JISZ1600[鋼製オープンドラム 2000]に定めるH級

試験に使用したドラム缶は、千代田テクノル(株)で製作された、タイプD、天蓋(蓋外側ボルト締め付け方式)付きである。

2.2 空ドラム缶-M級

JISZ1600[鋼製オープンドラム 2000]に定めるM級

試験に使用したドラム缶は、千代田テクノル(株)で製作された、タイプD、天蓋(蓋外側ボルト締め付け方式)付きである。

2.3 D-20型

JISZ1600[鋼製オープンドラム 2000]に定めるH級で、コンクリート内張りの仕様は、圧縮強度 300kgf/cm^2 、内張り厚さ：側部 20mm、底部 40mm、配筋：日本工業規格 JIS G 3551 に定める溶接金網の $3.2\text{mm}\phi$ をメッシュ $50\text{mm}\times 50\text{mm}$ である。

試験に使用したドラム缶は、千代田テクノル(株)で製作された、タイプD、天蓋(蓋外側ボルト締め付け方式)付きで、コンクリート内張りは、太平洋セメント社製の普通ポルトランドセメント(比重 3.16)を使用して、小河原セメント(株)で製作された。表2に、骨材の諸元を示す。使用した細骨材、粗骨材は、茨城県常陸大宮市産のものである。細骨材は、5, 2.5, 1.2, 0.6, 0.3 及び 0.15mm のふるいでふるい分けを行った後、粗粒率が 2.6%となるよう混合したものであり、その比重は、2.58 である。また、粗骨材の最大寸法は 15mm であり、その比重は、2.60 である。混和材は使用していない。

表3に、コンクリートの配合を示す。配合は、原子力機構における実績のとおりとし、材齢 28 日におけるコンクリートが 29.5N/mm^2 (約 300kgf/cm^2)以上となるよう配合した。表4にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。強度試験に用いた供試験体の寸法は、直径 10cm×高さ 20cm の円柱とした。コンクリート打設後、試験日まで気乾養生し、供試験体を脱型した。なお、養生後、試験体端面の平滑度を確認し、必要に応じて研磨した。

2.4 D-50-50型

JISZ1600[鋼製オープンドラム 2000]に定めるM級で、コンクリート内張りの仕様が圧縮強度 300kgf/cm^2 、内張り厚さ：側部 50mm、底部 50mm、配筋：主筋、フープ筋に、SR235 のそれぞれ、D9、D6 である。

試験に使用したドラム缶は、千代田テクノル(株)で製作された、タイプD、天蓋(蓋外側ボルト

締め付け方式)付きで、コンクリート内張りは、太平洋セメント社製の普通ポルトランドセメント(比重 3.16)を使用して、小河原セメント(株)で製作された。骨材の諸元、粗骨材の最大寸法は、試験体 D-20 型と同じものを使用している。混和材は使用していない。

表 5 に、コンクリートの配合を示す。配合は、原子力機構の実績のとおりとし、材齢 28 日におけるコンクリートが 29.5N/mm^2 (約 300 kg f/cm^2)以上となるよう配合してある。表 6 にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。強度試験に用いた供試験体の寸法は、直径 10cm×高さ 20cm の円柱とした。コンクリート打設後、試験日まで気乾養生し、試験体を脱型した。なお、養生後、試験体端面の平滑度を確認し、必要に応じて研磨した。

2.5 D-50-75 型

JISZ1600[鋼製オープンドラム 200ℓ]に定める M 級で、コンクリート内張りの仕様が圧縮強度 300kgf/cm^2 、内貼厚さ：側部 50mm、底部 75mm、配筋：主筋、フープ筋に、SR235 のそれぞれ、D9、D6 である。試験に使用したドラム缶、鉄筋、骨材の諸元、粗骨材の最大寸法は、試験体 D-50-50 型と同じものを使用している。また、コンクリートの配合も同様である。

2.6 セメント均質固化体 5N/mm^2

JISZ1600[鋼製オープンドラム 200ℓ]に定める M 級で、セメント固化物は一軸圧縮強度が 5N/mm^2 (約 50 kg f/cm^2)となるよう配合設計した。

試験に使用したドラム缶は、千代田テクノル(株)で製作された、タイプ D、天蓋(蓋外側ボルト締め付け方式)付きで、セメント固化物には、太平洋セメント社製の普通ポルトランドセメントを使用した。セメント固化物の充填高さは、上蓋から約 25cm 下までとした。これは、現行の均質・均一固化体に係る技術基準が、上部空隙について平均で 30%(約 25cm)以下としているためである。

表 7 に、セメントミルクの配合を示す。材齢は、28 日におけるセメントが 5N/mm^2 となるよう配合を定めた。この際、ブリーディング水が多く発生することが見込まれたことから、ドラム缶への打設は 5 層に分けた。1 層目の打設後、3 日間気乾養生し、ブリーディング水を除去した。層間は、目荒らしをしたうえで次層を打設した。各層からは、強度試験に用いる試料を 3 体ポリエチレン製の袋に採取し、直径 5cm×高さ 10cm の円柱供試体とした。セメントミルク打設後、4 週気乾養生後に供試験体を袋から取り出し、整形した。表 8 にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。

なお、廃棄体の技術基準の適合性の観点からは、ブリーディング水が発生しない配合をすることが望ましい。これは、水和反応中のセメント固化体に軸方向の水路状の欠損が形成され、その経路における余剰水の固化体表面への浸出により、セメント固化体の水密性が損なわれるおそれがあるためである⁴⁾。本試験においては、M 級の容器に、所定の一軸圧縮強度のセメント固化体を内包した場合の耐力を評価することを目的としたため、上記配合とした。

2.7 角型容器

内寸 1018×1018×1000mm の鋼製箱型の容器

試験に使用した角型容器は、関東技研(株)で製作され、側版コーナーは、折り曲げとし、コーナーでの溶接は行っていない。本体の鋼板には SS400 を用いた。鋼板の降伏点は 205N/mm 以上である。

3. 試験方法

試験体の変位量は、主として上載される廃棄体の傾斜量と廃棄体自体の変形量を把握するため測定する。また、ひずみ量は、廃棄体の部材の耐力を把握するために測定する。測定位置は、廃棄体等をコンクリートピット内に俵積みにした場合、主にドラム缶の底板、蓋、輪帯によって耐荷重が負担(載荷による応力が集中する)される構造となっていることから、当該部位を中心に計測器を設置するものとして、それぞれの種類の試験体について2つの試験体を対象として以下の方法により実施した。

3.1 載荷試験装置

載荷試験には、試験体がコンクリートピット内で積載された状態で受ける荷重を模擬できる特殊治具を備えた試験装置により行った。試験装置は、H型鋼で構成した加力フレーム、ドラム缶を模擬した加力治具(上下部)、載荷のための油圧ジャッキ及び荷重を測定するロードセルからなる。図1にドラム缶用特殊治具を装着した場合の装置の概要と設置状況を示す。フレームの概略寸法は、幅4.5m×奥行3.6m×高さ5.4mである。加力は油圧ジャッキにて行い、最大容量は300トンである。ロードセルには特殊治具の装着が可能で、球座が取り付けられている。

3.2 200ℓドラム缶を試験体に用いた試験方法

200ℓドラム缶に収納された試験体への載荷は、一方向単調荷重として約2kNずつ、最大荷重300kN程度までとした。加力は油圧ジャッキにて行い、特殊治具の静荷重による変形を容器に生じさせないため下方から上方へ加力した。特殊治具は、俵積みの状態を模擬するため、厚さ30mmの鋼管を削りだしてドラム缶状に製作され、また、試験体以上の剛性とするため内部はグラウトモルタルが充填されている。重量を軽減するため、半円状とし、中央部は変位計を設置するための間隔が設けられている。特殊治具を図2に、試験体の設置状況を図3に示す。

なお、内張り容器及びセメント固化体は、空ドラムに比べて耐荷重が大きいため、5kNずつ載荷した。

3.2 角型容器を試験体に用いた試験方法

角型容器への載荷は、一方向単調荷重として約10kNずつ、最大荷重400kNまでとした。載荷は油圧ジャッキにて行い、堅積み状態を模擬して上方から下方へ載荷した。上部(試験体蓋部)に接する特殊治具は、角形容器底部と同形状の溝形鋼や等辺山型鋼で作製されている。その特殊治具上部に上部載荷梁を載せ、ジャッキによる荷重を試験体全体へ均等に載荷できるようにした。試験体下部の支持方式は、試験体底部に接する面に鉄板を設置し、試験体全体に均等に載荷重が伝達される構造とした。図4に角形容器の特殊治具を装着した場合の載荷試験装置を、図5に上部の載荷梁と特殊治具を、図6に試験体の設置状況を示す。

3.3 計測システム

特殊治具の加力に伴い発生する試験体の変位、ひずみは、それぞれ、変位計、ひずみゲージ(1軸、2軸)により計測する。測定信号は、スイッチボックスを介してAD変換される。測定速度は0.06秒である。計測データは常時モニタし、静的ひずみ計測ソフトウェア(東京測器TDS/THS-7120)を用いて記録した。図7に、試験計測システムのフローを示す。

3.4 変位量の測定方法

(1) 2000ドラム缶を試験体に用いた変位量の測定方法

2000ドラム缶を容器に用いている試験体【空ドラム缶-H級】、試験体【空ドラム缶-M級】、試験体【D-20型】、試験体【D-50型】、試験体【セメント均質固化体 5N/mm²】の載荷荷重に応じたドラム缶の変形量を測定するため、変位計を

- ① ドラム缶全体の鉛直変位(特殊治具間の間隔:d1~d4)
- ② チャイム部淵周及び輪帯部(鉛直変位:d5~d10, 水平変位:d11~d16)
- ③ チャイム部及び蓋部(軸方向変位 d17~d22)

に設置した。変位計の容量は、想定される変形量に応じて(株)東京測器研究所製 CDP-100、50、25を使用した。それぞれの容量は、100mm、50mm、25mmである。ドラム缶の変位計の計測位置を図8、図9、図10に、変位計の設置状況を図11に示す。

(2) 角型容器を試験体に用いた変位量の測定方法

載荷荷重に応じた角型容器の変形量を測定するため、変位計を

- ① 蓋部(鉛直変位:d1~d4)
- ② 側版中央部(鉛直変位:d5~d8, 水平変位:d9~d12)
- ③ 底部(鉛直変位:d13~d16)

に設置した。側版中央部の水平方向の変位計は、鋼板の座屈の状況を確認することが目的である。変位計の容量は、想定される変形量に応じて(株)東京測器研究所製 CDP-100、50、25を使用した。それぞれの容量は、100mm、50mm、25mmである。角型容器の変位計の計測位置を図12、図13に示す。

3.5 ひずみ量の測定方法

(1) コンクリート内張りの無い 200ℓドラム缶を試験体に用いたひずみ量の測定方法

コンクリート内張りの無い 200ℓドラム缶を容器に用いている試験体【空ドラム缶-H 級】、試験体【空ドラム缶-M 級】は、載荷荷重に応じたドラム缶のひずみを測定するため、ひずみ計を

- ① 加力治具接触点のドラム缶内部(2 軸(円周、軸方向):s1~s8)
- ② 加力治具接触点のドラム缶外部(2 軸(円周、軸方向):s21~s24)
- ③ チャイム部淵周及び底板(1 軸(円周):s17~s20、2 軸(鉛直、水平方向):s25~s27)
- ④ 輪帯部(1 軸(円周):s9~s16)
- ⑤ 蓋付近(2 軸(円周、軸方向):s28~s33)
- ⑥ 蓋(1 軸(鉛直方向):s34)

に設置した。ひずみ計は、当該部位の平均化したひずみを測定するためゲージ長さ 3mm とし、ドラム缶は SPCC 冷間圧延鋼板で製作されているため、軟鋼用に用いられる(株)東京測器研究所製 FCA-3-11(2 軸), FLA-3-11(1 軸)を使用した。本試験体内部からの配線処理は、容器蓋部を穿孔して導線した。ひずみ計の計測位置を図 14、図 15、図 16、図 17 に示す。

(2) コンクリート内張りを施した 200ℓドラム缶を試験体に用いたひずみ量の測定方法

コンクリート内張りを施した 200ℓドラム缶を容器に用いた試験体【D-20 型】、試験体【D-50】は、載荷荷重に応じたドラム試験体のひずみを測定するため、ひずみ計を

- ① 加力治具接触点の内張りコンクリート(2 軸(円周、軸方向):s1~s8)
- ② 加力治具接触点のドラム缶外部(2 軸(円周、軸方向):s21~s24)
- ③ チャイム部外部淵周及び底板(1 軸(円周):s17~s20、2 軸(鉛直、水平方向):s25~s27)
- ④ チャイム部内張りコンクリート(2 軸(鉛直、水平方向):s28~s30)
- ⑤ 輪帯部(1 軸(円周):s9~s16)
- ⑥ 蓋付近(2 軸(円周、軸方向):s31~s34)
- ⑦ 蓋(1 軸(鉛直方向):s35)

に設置した。コンクリート内張りされた試験体の容器内側のひずみ計(s28~s30)は、載荷荷重がコンクリート内張り部底部で大きく負担されると考えられるため、骨材寸法を考慮してゲージ長さ 60mm の(株)東京測器研究所製 PL-60-11 を使用し、内張りコンクリート表面に貼付し配線処理を施した。本試験体内部からの配線処理は、容器蓋部を穿孔して導線した。

ドラム缶鋼材のひずみ計は、当該部位の平均化したひずみを測定するためゲージ長さ 3mm の軟鋼用に用いられる(株)東京測器研究所製 FCA-3-11(2 軸)、FLA-3-11(1 軸)を使用した。ひずみ計の計測位置を図 18、図 19、図 20、図 21 に示す。

(3) セメント均質固化体のひずみ量の測定方法

内側をセメントで充填されたセメント均質固化体 5N/mm² のひずみを測定するため、ひずみ計を

- ① 加力治具接触点のセメント固化体内部(2 軸(円周、軸方向):s1~s8)
- ② 加力治具接触点のドラム缶外部(2 軸(円周、軸方向):s21~s24)

- ③ チャイム部外部(1軸(円周):s17~s20、2軸(鉛直、水平方向):s25~s27)
- ④ セメント固化体頂面(2軸(鉛直、水平方向):s28~s30)
- ⑤ 輪帯部(1軸(円周):s9~s16)
- ⑥ 蓋付近(2軸(円周、軸方向):s31~s34)
- ⑦ 蓋(1軸(鉛直方向):s35)

に設置した。試験体の載荷荷重はセメント固化物で大きく負担されると考えられるため、セメント固化体内部にゲージ長さ 60mm の(株)東京測器研究所製 PL-60-11 を設置した(s1~s8)。ひずみ計の設置にあたっては、セメントミルクを容器に打設した直後の固まらないうちに、防水処理したひずみ計をセメントミルク内のドラム缶内側に貼付し、配線処理を施した。本試験体内部からの配線処理は、容器蓋部を穿孔して導線した。

ドラム缶鋼材のひずみ計は、測定部位の平均化したひずみを測定するためゲージ長さ 3mm の軟鋼用に用いられる(株)東京測器研究所製 FCA-3-11(2軸)、FLA-3-11(1軸)を使用した。セメント均質固化体のひずみ計の計測位置を図 22、図 23、図 24、図 25 に示す。

(4) 角型容器のひずみ量の測定方法

角型容器のひずみを測定するため、ひずみ計を

- ① 蓋部の四辺中央部(1軸(鉛直方向):s1~s4)
- ② 蓋部の中心線上(2軸(水平方向):s5~s7)
- ③ 蓋部の溝型鋼板上(1軸(水平方向):s8~s9)
- ④ 側版中心部(1軸(鉛直方向):s11, 14, 17, 20)
- ⑤ 側版縦リブ部(1軸(鉛直方向):s10, 12, 13, 15, 16, 18, 19, 21)
- ⑥ 底板の中心線上(2軸(水平方向):s22~s24)
- ⑦ 底板の四辺中央部(1軸(鉛直方向):s25~s28)
- ⑧ 底板の溝型鋼板上(1軸(鉛直方向):s29~s32)

に設置した。ひずみ計は、当該部位の平均化したひずみを測定するためゲージ長さ 3mm とし、軟鋼用に用いられる(株)東京測器研究所製 FCA-3-11(2軸)、FLA-3-11(1軸)を使用した。試験体内部のひずみ計からの配線処理は気密試験用ノズルから導線した。角型容器のひずみ計の計測位置を図 26、図 27、図 28、図 29 に示す。

4. 試験結果

3. の試験方法により測定した変位量、ひずみ量を容器種類ごとに以下に示す。

4.1 試験体【空ドラム缶-H級】

4.1.1 【空ドラム缶-H級】の変形(鉛直変位、チャイム(底板)及び蓋)

図 30 に、【空ドラム缶-H級】試験体No.1 及び試験体No.2 へ載荷した荷重及び試験体全体の鉛直方向の変位量(特殊治具間の間隔 d1~d4)の関係を示す。試験は、変位が進まなくなった時点で終了した。その荷重は、両試験体No.とも 74kN 付近であり、チャイム(底板)には 50mm 程度の縮みがあった。30kN 付近に変曲点があった。

【空ドラム缶-H級】試験体No.1 及び試験体No.2 の(底板 d17, d18, d19)及び蓋板(d20, 21, 22)の荷重の軸方向の変位量を図 31 に示す。両試験体とも、チャイムは容器外側に凸、蓋板は内側に凹となる変形となった。チャイムの変位量は蓋板に比べて大きい。チャイム及び蓋板の変位は、30kN 付近から発生している。鉛直変位の変曲点が生じる時点とチャイムの変位が発生する時点がほぼ同じであった。

4.1.2 【空ドラム缶-H級】の変形(チャイム部淵周及び輪帯部)

図 32、図 33 に【空ドラム缶-H級】試験体No.1 及び試験体No.2 へ載荷した荷重と試験体チャイム部淵周及び輪帯部の変位量(試験体上下面:d5~d10、側部:d11~d16)の関係を示す。試験体上下面:d5~d10 については、試験体の変形により変位計が治具と干渉するおそれがあったため、50kN 付近で終了した。側部:d11~d16 については、鉛直変位が進まなくなった時点(74kN 付近)で終了した。

図 32 より、両試験体とも、上下面:d5~d10 については、チャイム淵周の径の変形量(d5, d8)は小さく、第一(下部)輪帯(d6, d9)、及び第二(上部)輪帯の径の変位(d7, d10)が大きく、試験体は、蓋から缶径のつぶれが生じている。

図 33 より、側面:d11~d16 についても、チャイム淵周の径の変形量(d11, 12)は小さく、第一(下部)輪帯(d13, d14)、及び第二(上部)輪帯(d15, 16)の径の変位が大きく、試験体は、蓋から缶径のつぶれが生じている。なお、試験体No.2 の d12 の 40kN 付近の急激な変位の増加は、4.1.4 で後述するようにひずみ量が一樣な推移を示していることから、試験体の変形ではなく、変位計の設置のずれを計測したものである。

試験体のつぶれの状況を図 34 に示す。

4.1.3 【空ドラム缶-H級】のひずみ(チャイム(底板)及び蓋)

チャイムの鉛直方向ひずみを図 35 に、水平方向ひずみを図 36 に、蓋板のひずみを図 37 に示す。図 35 より、両試験体とも、チャイムの鉛直方向のひずみは、上下面 (s25-V、s27-V) で荷重 50kN まで圧縮ひずみとなっているが、それを越えた付近から急激に減少し、最終的には引張ひずみとなっている。チャイム中央の鉛直ひずみ (s26-V) は荷重 30kN までは発生せず、30kN を越えた付近から引張ひずみが発生していることから、チャイム部は 30kN を越えた付近から曲げを受ける。

図 36 より、チャイムの水平方向では、(s25-H、s26-H) で荷重 50kN まで大きなひずみ発生して

いないが、(s27-H) では引張ひずみが発生している。

図 37 より、蓋板の鉛直方向 (s34) は、バンドによって試験体本体と蓋板は拘束されているが、大きなひずみは発生していない。

4.1.4 【空ドラム缶-H級】のひずみ(チャイム部淵周及び輪帯部)

チャイム部淵周のひずみ測定結果を図 38 示す。両試験体とも、チャイム部淵周の円周方向に大きなひずみは生じておらず、鉛直変位が進まなくなる 74kN 付近でひずみが増加した。

第一(下部)輪帯、第二(上部)輪帯部のひずみ測定結果を、それぞれ図 39、図 40 に示す。両試験体とも、第一輪帯の上下面 (s14、s16)、第二輪帯の上下面 (s10、s12) では、荷重に応じて引っ張りひずみがほぼ線形に増加するが、30kN を超えると荷重に対するひずみの増加が大きくなる。第一(下部)輪帯の側部 (s13、s15)、第二(上部)輪帯側部 (s9、s11) は、圧縮ひずみが生じ、40kN 付近以降で増加しはじめ、その後は 5000 μ まで線形にひずみが増加した。

4.1.5 【空ドラム缶-H級】のひずみ(治具接触点)

加力治具と試験体が接触する部分のドラム缶内面の円周方向ひずみ、軸方向ひずみの測定結果を、それぞれ図 41、図 42 に示す。両試験体とも、円周方向及びドラム缶の軸方向のひずみは、治具の食い込みに伴って生じる引張りである。局所的な破壊により荷重が小さい場合(10kN 程度)でも急激に 5000~6000 μ まで増加する部分がある。

加力治具と試験体が接触するドラム缶側部表面の円周方向ひずみ、軸方向ひずみの測定結果をそれぞれ図 43、図 44 に示す。試験体側部(s21-R, S23-R)においては、円周方向に大きなひずみは発生していない。試験体上下面(S22-R, S24-R)においては、加力治具接触点における治具の食い込みに伴う引っ張りが作用した。軸方向ひずみについても同様の傾向である。40kN 付近に変曲点があった。

4.1.6 【空ドラム缶-H級】のひずみ(ドラム缶蓋付近)

ドラム缶蓋付近の円周方向ひずみ、軸方向ひずみの測定結果をそれぞれ図 45、図 46 に示す。両試験体とも、ドラム缶の軸方向のひずみは、引張りであり、これに伴って円周方向には圧縮ひずみが生じている。40kN 付近では、軸方向ひずみの引っ張りが減少し、これに伴い円周方向の圧縮も減少していることから、ドラム缶の弾性が損なわれたと考える。

4.2 試験体【空ドラム缶-M級】

4.2.1【空ドラム缶-M級】の変形(鉛直変位、チャイム(底板)及び蓋)

図 47 に、【空ドラム缶-M級】試験体No.1 及び試験体No.2 へ载荷した荷重及び試験体全体の鉛直方向の変位量(特殊治具間の間隔 d1~d4)の関係を示す。試験は、変位が進まなくなった時点で終了した。その荷重は、両試験体とも 50kN 付近であり、チャイム(底板)には 45mm 程度の縮みがあった。25kN 付近に変曲点があった。

【空ドラム缶-M級】試験体No.1 及び試験体No.2 の(底板 d17, d18, d19)及び蓋板(d20, 21, 22)の荷重の軸方向の変位量を図 48 に示す。両試験体とも、チャイムは容器外側に凸、蓋板は内側に凹となる変形となった。チャイムの変位量は蓋板に比べて大きい。チャイム及び蓋板の変位は、10kN 付近から発生している。

4.2.2【空ドラム缶-M級】の変形(チャイム部淵周及び輪帯部)

図 49、50 に、【空ドラム缶-M級】試験体No.1 及び試験体No.2 へ载荷した荷重と試験体チャイム部淵周及び輪帯部の変位量(試験体上下面:d5~d10、側面:d11~d16)の関係を示す。試験体上下面:d5~d10 については、試験体の変形により変位計が治具と干渉するおそれがあったため、35kN 付近で終了した。側面:d11~d16 については、鉛直変位が進まなくなった時点(50kN 付近)で終了した。

図 49 より、両試験体とも、上下面:d5~d10 については、チャイム淵周の径の変形量(d5, d8)は小さく、第一(下部)輪帯(d6, d9)、及び第二(上部)輪帯の径の変位(d7, d10)が大きく、試験体は、蓋から缶径のつぶれが生じている。

図 50 より、側面:d11~d16 についても、チャイム淵周の径の変形量(d11, 12)は小さく、第一(下部)輪帯(d13, d14)、及び第二(上部)輪帯(d15, 16)の径の変位が大きく、試験体は、蓋から缶径のつぶれが生じている。

試験体のつぶれの状況を図 51 に示す。

4.2.3【空ドラム缶-M級】のひずみ(チャイム(底板)及び蓋)

チャイムの鉛直方向ひずみを図 52 に、水平方向ひずみを図 53 に、蓋板のひずみを図 54 に示す。図 52 より、両試験体とも、チャイムの鉛直方向のひずみは、上下面(s25-V, s27-V)で荷重 40kN まで圧縮ひずみとなっているが、それを超えると引張ひずみとなっている。チャイム中央の鉛直ひずみ(s26-V)は荷重 10kN までは発生せず、それを越えた付近から引張ひずみが発生していることから、チャイム部は 10kN を越えた付近から曲げを受ける。

図 53 より、チャイムの水平方向のひずみは、(s25-H, s26-H, s27-H)で荷重 10kN まで大きなひずみは発生していないが、いずれも引張りを受ける。

図 54 より、蓋板の鉛直方向(s34)は、バンドによって試験体本体と蓋板は拘束されているが、大きなひずみは発生していない。

4.2.4【空ドラム缶-M級】のひずみ(チャイム部淵周及び輪帯部)

チャイム部淵周のひずみ測定結果を図 55 に示す。両試験体とも、チャイム部淵周の円周方向のひずみは大きくなく、鉛直変位が進まなくなる 45kN 付近でひずみが増加した。

第一(下部)輪帯、第二(上部)輪帯部のひずみ測定結果を、それぞれ図 56、図 57 に示す。両試験体とも、第一(下部)輪帯の上下面 (s14、s16)、第二(上部)輪帯の上下面 (s10、s12) では、荷重に応じて引っ張りひずみがほぼ線形に増加するが、20kN を超えると荷重に対するひずみの増加が大きくなる。なお、試験体No.2 の s10、s14 の初期はひずみ速度が速く、治具接触時の慣性力の影響があったと考える。

第一(下部)輪帯の側部 (s13、s15)、第二(上部)輪帯側部 (s9、s11) も、引っ張りひずみが生じており、30kN 付近以降でひずみ量が減少し、その後は圧縮ひずみとなった。

4.2.5 【空ドラム缶-M 級】のひずみ(治具接触面)

加力治具と試験体が接触する部分の円周方向ひずみ、軸方向ひずみの測定結果を、それぞれ図 58、図 59 に示す。両試験体とも、円周方向及びドラム缶の軸方向のひずみは、治具の食い込みに伴って生じる引張りである。局所的な破壊により荷重が小さい場合(10kN 程度)でも急激に 5000～6000 μ まで増加する部分がある。

加力治具と試験体が接触するドラム缶側面表面の円周方向ひずみ、軸方向ひずみの測定結果をそれぞれ図 60、図 61 に示す。試験体側部(s21-R、S23-R)においては、円周方向の大きなひずみは発生していない。試験体上下面(S22-R、S24-R)においては、円周方向の引っ張りひずみが生じており、加力治具接触点における治具の食い込みに伴う引っ張りが作用していた。20kN 付近に変曲点があり、その後は 50kN まで増加傾向にある。なお、軸方向には大きなひずみは発生していない。

4.2.6 【空ドラム缶-M 級】のひずみ(ドラム缶蓋付近)

ドラム缶蓋付近の円周方向ひずみ、軸方向ひずみの測定結果をそれぞれ図 62、図 63 に示す。両試験体とも、ドラム缶の軸方向のひずみは、引張りであり、これに伴って円周方向には圧縮ひずみが生じている。25kN 付近では、軸方向ひずみの引っ張りが減少し、これに伴い円周方向の圧縮も減少していることから、ドラム缶の弾性が損なわれたと考える。

4.3 試験体【D-20】

4.3.1 【D-20】の変形(鉛直変位、チャイム(底板)及び蓋)

図 64 に、【D-20】試験体No.1 及び試験体No.2 へ载荷した荷重及び試験体全体の鉛直方向の変位量(特殊治具間の間隔 d1~d4)の関係を示す。試験は、ドラム缶が傾斜し、偏芯したため 240kN の载荷で中止した。また、安全装置が作動したため、ドラム缶底部の変位量は、150kN 付近以降増加していない。ドラム缶蓋部では、240 kN を裁荷した時点での鉛直変位は、45mm 程度の縮みがあった。

【D-20】試験体No.1 及び試験体No.2 のチャイム(底板 d17, d18, d19)及び蓋板(d20, 21, 22)の荷重の軸方向の変位量を図 65 に示す。両試験体とも、チャイムは容器外側に凸、蓋板は内側に凹となる傾向である。チャイムの変位量は蓋板に比べて小さい。チャイム及び蓋板の変位は、10kN 付近から発生している。なお、240 kN を裁荷した時点では、蓋部が 6mm 程度変形していた。

4.3.2 【D-20】の変形(チャイム部淵周及び輪帯部)

図 66、図 67 に、【D-20】試験体No.1 及び試験体No.2 へ载荷した荷重と試験体チャイム部淵周及び輪帯部の変位量(試験体上下面:d5~d10、側面:d11~d16)の関係を示す。両試験体とも、上下面:d5~d10 については、チャイム淵周の径の変形量(d5, d8)、第一(下部)輪帯(d6, d9)、及び第二(上部)輪帯の径の変位(d7, d10)は同程度である。

側面:d11~d16 については、チャイム淵周の径の変形量(d11, 12)は小さく、第一(下部)輪帯(d13, d14)、及び第二(上部)輪帯(d15, 16)の径の変位が大きく、試験体は、蓋から缶径のつぶれが生じている。

試験体のつぶれの状況を図 68 に示す。

4.3.3 【D-20】のひずみ(チャイム(底板)、内貼コンクリート及び蓋)

チャイムの鉛直方向ひずみを図 69 に、水平方向ひずみを図 70 に、蓋板のひずみを図 71 に示す。図 69 より、両試験体とも、チャイムの鉛直方向のひずみは、上下面 (s25-V、s27-V) で荷重 50kN 以降、240kN まで圧縮ひずみとなっている。チャイム中央の鉛直ひずみ (s26-V) は荷重 50kN までは発生せず、それを越えた付近から引張ひずみが発生していることから、チャイム部は 50kN を越えた付近から曲げを受ける。

図 70 より、チャイムの水平方向のひずみは、中心の (s26-H) でひずみはほとんど発生していないが、(s25-H、s27-H) はいずれも引張りを受ける。

図 71 より、蓋板の鉛直方向 (s35) は、バンドによって試験体本体と蓋板は拘束されており、100kN までは圧縮ひずみであり、それ以降は引っ張りひずみとなる。

内貼りコンクリートの鉛直方向ひずみ、水平方向ひずみをそれぞれ、図 72、73 に示す。内貼コンクリートは、いずれも (s28-V、s29-V、s30-V) 鉛直方向に圧縮ひずみが生じ、それに伴い水平方向 (s28-H、s29-H、s30-H) に引っ張りひずみが生じている。60kN を越えた付近から引っ張りひずみの階段状の減少がみられる。

4.3.4 【D-20】のひずみ(チャイム部淵周及び輪帯部)

チャイム部淵周のひずみ測定結果を図 74 に示す。両試験体とも、チャイム部淵周の円周方向に大きなひずみは発生しないが、150kN 付近で急激な変化がある。傾向としては、ドラム缶上下面

が圧縮、側面が引っ張りをうける。

第一(下部)輪帯、第二(上部)輪帯部のひずみ測定結果を、それぞれ図 75、図 76 に示す。両試験体とも、第一(下部)輪帯の上下面 (s14、s16)、第二(上部)輪帯の上下面 (s10、s12) では、荷重に応じて引っ張りひずみが線形に 2000 μ へ増加した。第一(下部)輪帯の側部 (s13、s15)、第二(上部)輪帯側部 (s9、s11) も、引っ張りひずみが生じており、第二輪帯においては 150kN 付近以降でひずみ量が減少し、その後は圧縮ひずみとなった。

4.3.5 【D-20】のひずみ(治具接触面)

加力治具と試験体が接触する部分(内貼りコンクリート内面)の円周方向ひずみ、軸方向ひずみの測定結果を、それぞれ図 77、図 78 に示す。両試験体とも、円周方向及びドラム缶の軸方向のひずみは、治具の食い込みに伴って生じる引張りである。局所的な破壊により 50kN 程度でも急激にひずみが増減する部分がある。

加力治具と試験体が接触する部分のドラム缶側部表面の円周方向ひずみ、軸方向ひずみの測定結果をそれぞれ図 79、図 80 に示す。試験体側部(s21-R, S23-R)においては、円周方向及び軸方向(s21-Z、s23-Z)に大きなひずみは発生していないが、引っ張りが作用していた。試験体上下面においては、円周方向(S22-R, S24-R)、軸方向(S22-Z、S24-Z)ともに、加力治具接触点における治具の食い込みに伴う引っ張りが作用していた。150kN 付近に軸方向(s21-Z、s23-Z)の引っ張りひずみが急激に減少する。

4.3.6 【D-20】のひずみ(ドラム缶蓋付近)

ドラム缶蓋付近の円周方向ひずみ、軸方向ひずみの測定結果をそれぞれ図 81、図 82 に示す。両試験体とも、内張コンクリートからの反力を受けドラム缶表面の円周方向は引っ張りひずみであり、これに伴って軸方向のひずみは圧縮が生じている。150kN 付近では、円周方向ひずみの引っ張りが減少し、これに伴い軸方向の圧縮も減少していることから、内貼コンクリートが破壊したと考える。

4.4 試験体【D-50-50】

4.4.1 【D-50-50】の変形(鉛直変位、チャイム(底板)及び蓋)

図 83 に、【D-50-50】試験体No.1 及び試験体No.2 へ载荷した荷重及び試験体全体の鉛直方向の変位量(特殊治具間の間隔 d1~d4)の関係を示す。試験は、300kN の载荷まで実施した。ドラム缶蓋部では、300 kN を裁荷した時点での鉛直変位は、10mm 程度の縮みがあった。

【D-50-50】試験体No.1 及び試験体No.2 のチャイム(底板 d17, d18, d19)及び蓋板(d20, 21, 22)の荷重の軸方向の変位量を図 84 に示す。両試験体とも、チャイムは容器外側に凸、蓋板は内側に凹となる変形となった。チャイムの変位量は蓋板に比べて小さい。チャイム及び蓋板の変位は、50kN 付近から発生している。なお、300 kN を裁荷した時点では、チャイム部が 3mm 程度変形していた。

4.4.2 【D-50-50】の変形(チャイム部淵周及び輪帯部)

図 85、図 86 に、【D-50-50】試験体No.1 及び試験体No.2 へ载荷した荷重及び試験体チャイム部淵周、輪帯部の変位量(試験体上下面:d5~d10、側面:d11~d16)の関係を示す。図 85 より、両試験体とも、上下面:d5~d10 については、チャイム淵周の径の変形量(d5, d8)、第一(下部)輪帯(d6, d9)、及び第二(上部)輪帯の径の変位(d7, d10)は同程度である。

図 86 より、側面:d11~d16 については、チャイム淵周の径の変形量(d11, 12)は小さく、第一(下部)輪帯(d13, d14)、及び第二(上部)輪帯(d15, 16)の径の変位が大きく、試験体は、蓋から缶径のつぶれが生じている。

試験体のつぶれの状況を図 87 に示す。

4.4.3 【D-50-50】のひずみ(チャイム(底板)、内貼コンクリート及び蓋)

チャイム、内貼コンクリート、蓋板のひずみ測定結果を図 88、図 89、図 90、図 91 に示す。図 88、図 89 より、チャイムにおける両試験体に大きなひずみは発生していない。なお、試験体No.1 のチャイムの鉛直方向のひずみは、s25-V、s-26、s27-V の全てで荷重 50kN 以降で引っ張りひずみとなっているが、試験体No.2 では、s27-V が圧縮ひずみとなっており一様ではない。

チャイムの水平方向のひずみは、中心の(s26-H)でひずみはほとんど発生していないが、(s25-H、s27-H) はいずれも引っ張りを受ける。

図 90 より、蓋板の鉛直方向(s35)は、バンドによって試験体本体と蓋板は拘束されており、100kN まではひずみは小さく、それ以降は引っ張りひずみとなる。

図 91、図 92 より、内貼コンクリートは、(s28-V、s29-V、s30-V)の全てで鉛直方向に圧縮ひずみが生じ、それに伴い水平方向(s28-H、s29-H、s30-H)に引っ張りひずみが生じている。

4.4.4 【D-50-50】のひずみ(チャイム部淵周及び輪帯部)

チャイム部淵周のひずみ測定結果を図 93 に示す。両試験体とも、チャイム部淵周の円周方向では大きなひずみは発生しないが、150kN 付近で急激な変化がある。傾向としては、ドラム缶上下面、側面ともに引っ張りをうける。

輪帯部のひずみ測定結果を図 94、図 95 に示す。両試験体とも、第一(下部)輪帯の上下面(s14、s16)、第二(上部)輪帯の上下面(s10、s12)では、荷重に応じて引っ張りひずみが 50kN 以降はほ

ぼ線形に 1500μ に増加した。第一(下部)輪帯の側部 (s13、s15)、第二(上部)輪帯側部 (s9、s11) も引っ張りひずみが生じ、50kN 以降は線形に増加している。第二(上部)輪帯は第一(下部)輪帯に比して、ひずみ量が大きい。

4.4.5 【D-50-50】のひずみ(治具接触点)

加力治具と試験体が接触する部分(内貼りコンクリート内面)のひずみ測定結果を図 96、図 97 に示す。両試験体とも、円周方向及びドラム缶の軸方向のひずみは、治具の食い込みに伴って生じる引張りである。円周方向は、50kN 以降で急激にひずみが増加している。

加力治具と試験体が接触するドラム缶表面のひずみの測定結果を図 98、図 99 に示す。試験体上下面においては、円周方向(S22-R、S24-R)では引っ張りひずみが、軸方向(S22-Z、S24-Z)に圧縮ひずみが生じている。試験体側面(s21-R、S23-R)においては、円周方向、軸方向(s21-Z、s23-Z)ともに引っ張りひずみが生じており、加力治具接触点における治具の食い込みに伴う引っ張りがドラム缶表面に作用していた。

4.4.6 【D-50-50】のひずみ(ドラム缶蓋付近)

ドラム缶蓋付近のひずみ測定結果を図 100、図 101 に示す。両試験体とも、内張コンクリートからの反力を受けドラム缶表面の円周方向は引っ張りひずみであり、これに伴って軸方向のひずみは圧縮が生じている。なお、【D-50-50】試験体No.2 では、50kN 付近では、円周方向ひずみが圧縮となる部分(s33-R)があり、軸方向も圧縮ひずみが生じており、局所的な破壊が生じたと考える。

4.5 試験体【D-50-75】

4.5.1 【D-50-75】の変形(鉛直変位、チャイム(底板)及び蓋)

図 102 に、【D-50-75】試験体No.1 及び試験体No.2 へ載荷した荷重及び試験体全体の鉛直方向の変位量(特殊治具間の間隔 d1~d4)の関係を示す。試験は、300kN の載荷まで実施した。ドラム缶蓋部では、300 kN を裁荷した時点での鉛直変位は、10mm 程度の縮みがあった。

【D-50-50】試験体No.1 及び試験体No.2 のチャイム(底板)及び蓋板の荷重の軸方向の変位量を図 103 に示す。両試験体とも、チャイムは容器外側に凸、蓋板は内側に凹となる変形でとなった。チャイムの変位量は蓋板と同程度である。チャイム及び蓋板の変位は、0kN 付近から順次発生している。なお、300 kN を裁荷した時点では、チャイム部が 3mm 程度変形していた。

4.5.2 【D-50-75】の変形(チャイム部淵周及び輪帯部)

図 104、図 105 に、【D-50-50】試験体No.1 及び試験体No.2 へ載荷した荷重及び試験体チャイム部淵周及び輪帯部の変位量(試験体上下面:d5~d10、側面:d11~d16)の関係を示す。図 104 より、両試験体とも、上下面:d5~d10 については、チャイム淵周の径の変形量(d5、d8)が小さく、第一輪帯(d6、d9)、及び第二輪帯の径の変位(d7、d10)の径の変位が大きく、試験体は、蓋から缶径のつぶれが生じている。

図 105 より、側面:d11~d16 については、チャイム淵周の径の変形量(d11、12)は小さく、第一輪帯(d13、d14)、及び第二輪帯(d15、16)の径の変位が大きく、試験体は、蓋から缶径のつぶれが生じている。

試験体のつぶれの状況を図 106 に示す。

4.5.3 【D-50-75】のひずみ(チャイム(底板)、内貼コンクリート及び蓋)

チャイム、蓋板、内貼コンクリートのひずみ測定結果を図 107、図 108、図 109、図 110、図 111 に示す。図 107、図 108 より、両試験体とも、チャイムの鉛直方向 (s25-V、s26-V、s27-V)、水平方向 (s25-H、s26-H、s27-H) に大きなひずみは発生していない。

図 109 より、蓋板の鉛直方向 (s35) は、バンドによって試験体本体と蓋板は拘束されているが、100kN までは大きなひずみは発生せず、それ以降は圧縮ひずみとなり 150~200kN を超えると引っ張りひずみとなる。

内貼コンクリートは、図 110、図 111 より、チャイム部は、いずれも鉛直方向 (s28-V、s29-V、s30-V) に圧縮ひずみが生じ、それに伴い水平方向 (s28-H、s29-H、s30-H) に引っ張りひずみが生じている。100kN を超えた付近から水平方向の引っ張りひずみの急激な減少がみられる。

4.5.4 【D-50-75】のひずみ(チャイム部淵周及び輪帯部)

チャイム部淵周のひずみ測定結果を図 112 に示す。両試験体とも、チャイム部淵周の円周方向に大きなひずみは発生していないが、100~150kN 付近で急激な変化がある。傾向としては、ドラム缶上下面、側面ともに引っ張りをうける。

輪帯部のひずみ測定結果を図 113、図 114 に示す。両試験体とも、第一(下部)輪帯の上下面 (s14、s16)、第二(上部)輪帯の上下面 (s10、s12) では、荷重に応じて引っ張りひずみが 50kN 以降は線形に 1500 μ 程度に増加した。第一(下部)輪帯の側部 (s13、s15)、第二(上部)輪帯側部 (s9、s11)

も、引っ張りひずみが生じ、50kN 以降は線形に増加している。第二輪帯と第一輪帯のひずみ量は同程度である。

4.5.5 【D-50-75】のひずみ(治具接触面)

加力治具と試験体が接触する部分(内貼りコンクリート内面)のひずみ測定結果を図 115、図 116 に示す。両試験体とも、円周方向及びドラム缶の軸方向のひずみは、治具の食い込みに伴って生じる引張りである。円周方向は、50kN 以降で急激にひずみが増加している。

加力治具と試験体が接触するドラム缶表面のひずみの測定結果を図 117、図 118 に示す。試験体上下面に大きなひずみは発生していないが、円周方向(S22-R, S24-R)に引っ張りひずみが、軸方向(S22-Z, S24-Z)に圧縮ひずみが生じている。試験体側面においては、円周方向(s21-R, S23-R)、軸方向(s21-Z, s23-Z)ともに引っ張りひずみが生じており、加力治具接触点における治具の食い込みに伴う引っ張りがドラム缶表面に作用していた。

4.5.6 【D-50-75】のひずみ(ドラム缶蓋付近)

ドラム缶蓋付近のひずみ測定結果を図 119、図 120 に示す。両試験体とも、内張コンクリートからの反力を受けドラム缶表面の円周方向は引っ張りひずみであり、これに伴って軸方向のひずみは圧縮が生じている。なお、s33 については、上記傾向にそぐわないことから、局所的な破壊が生じたと考える。

4.6 試験体【セメント均質固化体 5N/mm²】

4.6.1 【セメント均質固化体 5N/mm²】の変形(鉛直変位、チャイム(底板)及び蓋)

図 121 に、【セメント均質固化体 5N/mm²】試験体No.1 及び試験体No.2 へ载荷した荷重及び試験体全体の鉛直方向の変位量(特殊治具間の間隔 d1~d4)の関係を示す。試験は、300kN の载荷まで実施した。ドラム缶蓋部では、300 kN を裁荷した時点での鉛直変位は、14mm 程度の縮みがあった。

【セメント均質固化体 5N/mm²】試験体No.1 及び試験体No.2 のチャイム(底板)及び蓋板の荷重の軸方向の変位量を図 122 に示す。両試験体とも、チャイムは容器外側に凸、蓋板は内側に凹となる変形となった。チャイムの変位量は蓋板と同程度である。チャイム及び蓋板の変位は、0kN 付近から順次発生している。300 kN を裁荷した時点では、チャイム部が最大 1.5mm 程度変形していた。

4.6.2 【セメント均質固化体 5N/mm²】の変形(チャイム部淵周及び輪帯部)

図 123 に、【セメント均質固化体 5N/mm²】試験体No.1 及び試験体No.2 へ载荷した荷重及び試験体チャイム部淵周及び輪帯部の変位量(試験体上下面:d5~d10、側面:d11~d16)の関係を示す。試験体No.1 については、上下面:d5~d10 については、チャイム淵周の径の変形量(d5, d8)は、第一輪帯(d6, d9)、及び第二輪帯の径の変位(d7, d10)より小さく、蓋からつぶれが生じている。試験体No.2 については、そのような傾向はみられないことから、局所的な凹み、ずれが生じたものと考ええる。

図 124 より、側面:d11~d16 については、データが軸対象であることから、容器の変形ではなく、裁荷に伴う容器位置のずれが計測されたものと考ええる。

試験体のつぶれの状況を図 125 に示す。

4.6.3 【セメント均質固化体 5N/mm²】のひずみ(チャイム(底板)、内貼コンクリート及び蓋)

チャイム、蓋板のひずみ測定結果を図 126、図 127、図 128、に示す。図 126、図 127 より、両試験体とも、チャイムの鉛直方向のひずみ(s25-V、s26-V、s27-V)、水平方向のひずみ(s25-H、s26-H、s27-H)は小さい。なお、試験体No.1 のS25については、測定器の接触不良によるものである。

図 128 より、蓋板の鉛直方向(s35)は、バンドによって試験体本体と蓋板は拘束されているが、ひずみは発生していない。

4.6.4 【セメント均質固化体 5N/mm²】のひずみ(チャイム部淵周及び輪帯部)

チャイム部淵周のひずみ測定結果を図 129 に示す。両試験体とも、図 129 より、チャイム部淵周は、裁荷に伴い、いずれも円周方向に圧縮ひずみが生じているがその量は大きくない。

輪帯部のひずみ測定結果を図 130、図 131 に示す。両試験体とも、第一(下部)輪帯の上下面(s14、s16)、第二(上部)輪帯の上下面(s10、s12)では、荷重に応じて引っ張りひずみが線形に 300 μ に増加した。第一(下部)輪帯の側部(s13、s15)、第二(上部)輪帯側部(s9、s11)は大きなひずみは発生していない。第二輪帯と第一輪帯のひずみ量は同程度である。

4.6.5 【セメント均質固化体 5N/mm²】のひずみ(治具接触点)

加力治具と試験体が接触する部分(固化体内部)のひずみ測定結果を図 132、図 133 に示す。両

試験体とも、一様な傾向は得られず、また、データは測定不良により一部欠落している。

加力治具と試験体が接触する面のドラム缶側面のひずみの測定結果を図 134、図 135 に示す。試験体上下面においては、円周方向(S22-R、S24-R)では引っ張りひずみが、軸方向(S22-Z、S24-Z)に圧縮ひずみが生じている。試験体側面(s21-R、S23-R)においては、円周方向、軸方向(s21-Z、s23-Z)ともに引っ張りひずみが生じており、加力治具接触点における治具の食い込みに伴う引っ張りがドラム缶表面に作用していた。

4.6.6 【セメント均質固化体 5N/mm²】のひずみ(固化体頂面)

ドラム缶蓋付近のひずみ測定結果を図 136、図 137 に示す。両試験体とも、セメント固化体頂面のひずみは、圧縮される傾向である。50kN 付近以降では、固化体頂面の中心において水平方向ひずみが引っ張り(s29-H)が生じている。なお、試験体No.2 の s28 のデータは、測定不良により欠落した。

4.6.7 【セメント均質固化体 5N/mm²】のひずみ(ドラム缶蓋付近)

ドラム缶蓋付近のひずみ測定結果を図 138、図 139 に示す。両試験体とも、ドラム缶のひずみは、圧縮される傾向である。50kN 付近以降では変化が見られる。

4.7 試験体【角型容器】

4.7.1【角型容器】の変形(鉛直変位、チャイム(底板)及び蓋)

図 140、図 141 に、【角型容器】試験体No.1 及び試験体No.2 へ載荷した荷重及び試験体蓋、底板の鉛直方向の変位量(蓋 d1~d4、底板 d13~d16)の関係を示す。試験は、400kN の載荷まで実施した。蓋部では、400 kN を裁荷した時点での鉛直変位は、2.5mm 程度の縮みがあった。底板部では、1.5 mm程度の縮みであった。

4.7.2【角型容器】の変形(側板中央部)

図 142、図 143 に、【角型容器】試験体No.1 及び試験体No.2 へ載荷した荷重及び側板中央部の鉛直変位、水平変位量(鉛直変位:d5~d8、水平変位:d8~d12)の関係を示す。両試験体とも鉛直変位については、2mm 程度の縮みが生じた。図 143 より、水平方向変位については、1.5mm 程度の縮みが生じた。

試験体の裁可後の状況を図 144 に示す。

4.7.3【角型容器】のひずみ(蓋板、蓋板中補強用鋼板、蓋板中心線上)

蓋板、蓋板中補強用鋼板のひずみ測定結果を図 145 に示す。蓋板の鉛直ひずみ(s1~s4)は、数百 μ の圧縮である。蓋板補強板中のひずみ(s8、s9)は、裁荷に伴い引っ張りとなっている。いずれの部位でも大きなひずみは発生していない。

図 146 より、蓋板中心線上のひずみ(2軸、s5~s7)は、さらに小さい。

4.7.4【角型容器】のひずみ(側板縦リブ上、側板中心部)

側板縦リブ上のひずみ測定結果を図 147 に示す。鉛直ひずみは、数百 μ と大きなひずみは発生しておらず、試験体No.1 では、全て圧縮傾向である。試験体No.2 においては、向かい合う2面がそれぞれ圧縮又は引っ張りとなった。

図 148 より、側板中央部の鉛直ひずみは、さらに小さく圧縮傾向である。

4.7.5【角型容器】のひずみ(底板、底板中心線上、底板補強用鋼板)

底板、底板中心線上、底板補強用溝型鋼板のひずみ測定結果を図 149、図 150、図 151 に示す。いずれのひずみ量も 100 μ 以下であり大きなひずみは発生していない。

5. 耐埋設荷重の設定

本項では、4. の試験結果において実測したデータに基づき、試験体ごとに耐埋設荷重の設定を行う。

5.1 耐埋設荷重設定の考え方

廃棄体の耐埋設荷重については、埋設された場合において受けるおそれのある荷重に耐える強度を有していることが求められている。ドラム廃棄体をコンクリートピットの区画内に俵積みした場合、荷重によりドラム缶が変形し廃棄体列が傾斜する。また、変形に伴って生じた部材の伸びについては、降伏点に達している場合、延性破壊により、ドラム缶の変形が進展するおそれがある。このため、想定する廃棄体の定置条件における、廃棄体列の傾斜量に係る耐荷重と、廃棄体の耐力に係る耐荷重をそれぞれ設定し、それらの保守性を考慮して、廃棄体容器毎の耐埋設荷重とする。

角型容器についても同様の考え方で耐荷重を設定するが、4. の試験結果によると、ひずみ量は、部材の耐力の基準とされる 0.2%⁵⁾に比しても十分小さいことから、変形は弾性変形の範囲内である。なお、巻末資料に示すとおり、裁荷後に気密試験を実施したが、漏れがないことを確認した。このため、角型容器の耐荷重は、4. で裁荷した荷重(400 kN)として保守的に設定することとし、以降の検討はドラム缶に収納された廃棄体を対象とする。

5.1 廃棄体載荷時の傾斜量の評価

ドラム缶型廃棄体を区画内に俵積みした場合、その上段に積載されるドラム缶型廃棄体の積載荷重によりドラム缶の径が蓋部付近で比較的大きく縮み、真円度が悪化する。このため上載される廃棄体は、蓋方向に傾斜し隣接するドラム廃棄体列又はコンクリートピットの側壁と相互に接触し破損するおそれが生じる。また、ドラム廃棄体の定置においては、コンクリートピット内に充填する必要があるモルタルの充填スペースを確保することが必要⁶⁾となることから、ドラム缶型廃棄体の載荷時の傾斜量を評価するものとした。

ドラム廃棄体の載荷時の傾斜量(Δ)は、以下の方法とし最下段の廃棄体の傾斜角度がそのまま最上段の傾斜角度となるとして保守的に評価することとした。図 152 にドラム廃棄体の傾斜量評価に係る概念図を示す。

$$\Delta = \delta \times H/B$$

$$H = (n-1) \times A + \phi$$

ここに、 Δ : 最上段のドラム廃棄体の水平変位(傾斜量)

B : ドラム廃棄体の長さ (=900mm)

ϕ : ドラム廃棄体の直径 (=620mm)

δ : 変位差 (最下段のドラム廃棄体のチャイム部と蓋部の変位差)

n : 積上げ段数

A : 俵積み時のドラム廃棄体中心の間隔 (=496mm)

H : n 段積載時のドラム廃棄体の高さ

5.3 廃棄体の定置条件の設定

ドラム缶型廃棄体を区画内に俵積みした場合の寸法等については、埋設する際に使用するクレーンの定置精度、ドラム缶の許容寸法誤差、コンクリートピットの施工精度を踏まえて、表 9、図 153 及び図 154 に示す寸法とした。なお、4. の試験における廃棄体への加力治具の載荷は、本項における定置条件に基づく寸法とした。

5.4 廃棄体の載荷時の傾斜量(缶径の変形量)に係る耐埋設荷重

最下段のドラム缶型廃棄体の変位差(ドラム廃棄体のチャイム部と蓋部の変位差)を 5mm、10mm、15mm と仮定した場合、ドラム廃棄体を n 段積みした際の最上段のドラム缶の水平方向の傾斜量を 5.2 項記載の式により求めた。その結果を表 10 に示す。

また、5.3 より、廃棄体間の離隔距離の最小値は 125mm であるため、ドラム廃棄体が傾斜しても、最上段のドラム廃棄体の水平変位が 125 mm 以下となるような、最下段のドラム缶の変位差を求めた。

表 10 によれば、廃棄体を 9 段俵積みとする場合、最上段のドラム缶の水平方向の傾斜については、最下段のドラム缶の変位差が 10mm を超えると、廃棄体同士の離隔距離が確保できなくなり、廃棄体の定置が困難となる。したがって、各試験体において、変位差が 10mm 以下となるような荷重のうちその最小値を耐埋設荷重として設定した。各試験体の変位差が 10mm 以下となる荷重の最小値を表 11 に示す。

5.5 廃棄体の耐力(ひずみ量)に係る耐埋設荷重

ドラム缶型廃棄体は、その形状から応力が集中する部分は主にチャイム部、輪帯部であり、当該部位により上載された廃棄体が支持されることとなる。このため、当該部位が降伏に至った荷重を耐埋設荷重とする。4. の試験結果では、上記部位の鋼材は明瞭な降伏点が測定されなかった。変形の初期においては、一定のひずみ速度下において荷重-ひずみ曲線が線形となる弾性変形領域がみられたため、弾性変形の始まりを起点として、ひずみ量(全伸び)が 0.2%⁵⁾となる荷重を降伏点(耐力)とした。各試験体の耐力を表 12 に示す。

5.6 廃棄体の耐埋設荷重の設定と保守性

5.4 及び 5.5 で設定した耐埋設荷重のうち、保守的な値を採用して廃棄体の耐埋設荷重とした。各廃棄体の耐埋設荷重を表 13 に示す。

6. まとめ

原子力機構が設置を計画している浅地中埋設処分施設のうち、耐埋設強度が要求されるコンクリートピット埋設設備(俵積み方式)に埋設する廃棄体となるドラム缶型廃棄体、セメント均質・固化体及び角型容器について、定置条件を模擬した試験装置を使用しそれぞれの廃棄体等での変位量及びひずみ量を実測することにより廃棄体毎の耐埋設荷重を設定した。

これらの結果は、今後埋設事業推進センターで予定している埋設施設の基本設計に係る前提条件に供されるとともに、国による廃棄体確認を廃棄体製作者等が受検する際の根拠の一部として活用できるものとなる。

参考文献

- 1) 独立行政法人原子力安全基盤機構 : “均質・均一固化体及び充填固化体の廃棄のための確認方法について JNESS-SS-0801”, (2008).
- 2) 独立行政法人原子力安全基盤機構 : “四国電力(株)伊方発電所の高圧圧縮廃棄体に係る廃棄確認方法について JNESS-SS-1003”, (2011).
- 3) 独立行政法人原子力安全基盤機構 : “ペレット・グラニュール固化体及びペレット固化体に係る廃棄確認方法について(改訂 2) JNESS-SS-1003”, (2009).
- 4) A.M.Neville : “Properties of Concrete Fourth Edition”, 技報堂出版, (2004)
- 5) 日本機械学会 : “機械実用便覧 改訂第 6 版”, (1990).
- 6) 日本原燃株式会社 : “六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター廃棄物埋設事業変更許可申請書”, (1997)

表 1 試験体一覧表(1/2)

試験体名	仕様
① H級ドラム缶	<ul style="list-style-type: none"> ・ JIS Z 1600:2006 鋼製オープンヘッドドラム タイプD H級 ・ 天蓋付き (蓋外側ボルト締め付け方式)
② M級ドラム缶	<ul style="list-style-type: none"> ・ JIS Z 1600:2006 鋼製オープンヘッドドラム タイプD M級 ・ 天蓋付き (蓋外側ボルト締め付け方式)
③ D-20 型	<ul style="list-style-type: none"> ・ コンクリート 2cm 内張り、底部厚さ 40mm、200ℓドラム缶 ・ 容器本体：JIS Z 1600:2006 鋼製オープンヘッドドラム タイプD H級 天蓋付き (蓋外側ボルト締め付け方式) ・ コンクリート内張り：側部 2cm 及び底部 4cm コンクリートライニングでコンクリート設計基準強度 29.5N/mm² 以上 ・ 鉄筋：溶接金網 JIS G 3551:2005 ・ フロー値：200mm 以上 ・ 水・セメント比：40%前後 ・ コンクリート比重：2.2 以上 (4 週気乾養生後) ・ コンクリート打設高さ：上面より 30mm まで
④ D-50-50 型	<ul style="list-style-type: none"> ・ コンクリート 5cm 内張り、底部厚さ 50mm、200ℓドラム缶 ・ 容器本体：JIS Z 1600:2006 鋼製オープンヘッドドラム タイプD M級 天蓋付き (蓋外側ボルト締め付け方式) ・ コンクリート内張り：側部 5cm 及び底部 5cm コンクリートライニングでコンクリート設計基準強度 29.5N/mm² 以上 ・ 鉄筋：鉄筋コンクリート用棒鋼 JIS G 3112:SR235:2004 主筋 9mm φ、フープ筋 6mm φ ・ コンクリートスランプ：10±2cm ・ 水・セメント比：50±5% ・ コンクリート比重：2.2 以上 (4 週気乾養生後) ・ コンクリート打設高さ：上面より 105±5mm まで
⑤ D-50-75 型	<ul style="list-style-type: none"> ・ コンクリート 5cm 内張り、底部厚さ 75mm、200ℓドラム缶 ・ 容器本体：JIS Z 1600:2006 鋼製オープンヘッドドラム タイプD M級 天蓋付き (蓋外側ボルト締め付け方式) ・ コンクリート内張り：側部 5cm 及び底部 7.5cm コンクリートライニングでコンクリート設計基準強度 29.5N/mm² 以上 ・ 鉄筋：鉄筋コンクリート用棒鋼 JIS G 3112:SR235:2004 主筋 9mm φ、フープ筋 6mm φ ・ コンクリートスランプ：10±2cm ・ 水・セメント比：50±5% ・ コンクリート比重：2.2 以上 (4 週気乾養生後) ・ コンクリート打設高さ：上面より 105±5mm まで

表 1 試験体一覧表 (2/2)

試験体名	仕様
⑥ セメント均質 固化体	<ul style="list-style-type: none"> ・容器本体：JIS Z 1600:2006 鋼製オープンヘッドドラム タイプ D M級 天蓋付き（蓋外側ボルト締め付け方式） ・セメントミルク一軸圧縮強度：約 5N/mm² ・セメントミルク充填高さ：上面より 250±5mm まで
⑦ 角型容器	<ul style="list-style-type: none"> ・形状 箱形 ・構造 鋼板製 溶接構造 上部フランジ開閉型 溶接は全溶接(ただし、補強材は除く。) 側板コーナーは折り曲げとし、コーナーでの溶接は行わない。 ・寸法 (内寸) 1018 (L)×1018 (W)×1000 (H)mm ・材質 SS400 (本体)、SUS304 (ボルト、ナット、座金)

表 2 骨材の諸元

骨材の種類	産地	比重	粗粒率
細骨材	茨城県常陸大宮市	2.58	2.6%
粗骨材	茨城県常陸大宮市	2.60	6.5% 5.5%

表 3 D-20 型のコンクリートの配合

粗骨材の最大寸法	フロー (mm)	水セメント比 W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 S/a (%)
15	200×200	40	1	50

単位量 (kg/m ³)					
水 W(kg)	セメント C(kg)	混和剤	細骨材	粗骨材	混和材
170	425	0	885	892	0

表 4 D-20 型のフレッシュコンクリートの試験結果

気温(°C) (フロー測定時)	コンクリートの温 度(°C)	フロー (mm)	28 日材齢圧縮強度 (N/mm ²)
6	9	220×223	32.5

表 5 D-50 型のコンクリートの配合

粗骨材の最大寸法	スランプ (cm)	水セメント比 W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 S/a (%)
15	10±2	48	1	44

単位量 (kg/m ³)					
水 W (kg)	セメント C (kg)	混和材	細骨材	粗骨材	混和剤
182	380	0	780	1000	0

表 6 D-50 型のフレッシュコンクリートの試験結果

気温 (°C) (スランプ測定時)	コンクリートの温度 (°C)	スランプ (cm)	28 日材齢圧縮強度 (N/mm ²)
5	6.8	8.5	32.1

表 7 均質固化体のセメントの配合

水セメント比 W/C (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)					
		水 W (kg)	セメント C (kg)	混和材	細骨材	粗骨材	混和剤
147	0	560	823	0	0	0	0

表 8 均質固化体のコンクリートの試験結果

打設層	設計基準強度 N/mm ²	材齢	圧縮強度 (N/mm ²)
1 層目 (最下層)	5.0	28 日	5.8
2 層目			5.7
3 層目			5.8
4 層目			5.9
5 層目 (最上層)			5.9

表9 ドラム廃棄体定置時の離隔距離

位置	廃棄体中心間距離 (mm)		廃棄体長 (mm)		廃棄体離隔距離 (mm)	
	L1		L4		L7	
ドラム廃棄体同士	L1	1,025	L4	900	L7	125
壁とドラム廃棄体	L2	580	L5	450	L8	130
注入管設置部	L3	1,170	L6	900+100	L9	170

表10 積載段数と傾斜量の関係

積載段数	変位差					
	5.0 mm		10.0 mm		15.0 mm	
	傾斜量 (mm)	隣接離れ (mm)	傾斜量 (mm)	隣接離れ (mm)	傾斜量 (mm)	隣接離れ (mm)
2	6.2	113	12.4	100	18.6	88
3	9.0	107	17.9	89	26.9	71
4	11.7	102	23.4	78	35.1	55
5	14.5	96	28.9	67	43.4	38
6	17.2	91	34.4	56	51.7	22
7	20.0	85	40.0	45	59.9	5
8	22.7	80	45.5	34	68.2	-11
9	25.5	74	51.0	23	76.5	-28
10	28.2	69	56.5	12	84.7	-44

※1 積載段数とはピット区画内においてドラム缶を積み上げる段数をいう。

※2 変位差とは、最下段のドラム缶の蓋板とチャイム部の変位の差をいう。

※3 傾斜量とは、最上段のドラム缶の水平方向の変位量をいう。

※4 隣接離れとは、隣接して定置される廃棄体との間隔をいう。

※5 ドラム廃棄体離隔距離 (125 mm) = 隣接離れ + 傾斜量 × 2

表 11 各試験体における変形量に基づく耐荷重

試験体	耐荷重(変位差 10mm と なる荷重)
空ドラム H 級	31kN
空ドラム M 級	26kN
D-20	150kN 以上
D50-50	300kN 以上
D50-75	300kN 以上
セメント固化体	300kN
角型容器	400kN 以上

表 12 各試験体におけるひずみ量に基づく耐荷重

試験体	耐荷重(ひずみ量 0. 2%となる荷重)
空ドラム H 級	20kN
空ドラム M 級	18kN
D-20	150kN
D50-50	300kN
D50-75	300kN 以上
セメント固化体	300kN 以上
角型容器	400kN 以上

表 13 各試験体の耐荷重

試験体	耐荷重
空ドラム H 級	20kN
空ドラム M 級	18kN
D-20	150kN
D50-50	300kN
D50-75	300kN
セメント固化体	300kN
角型容器	400kN

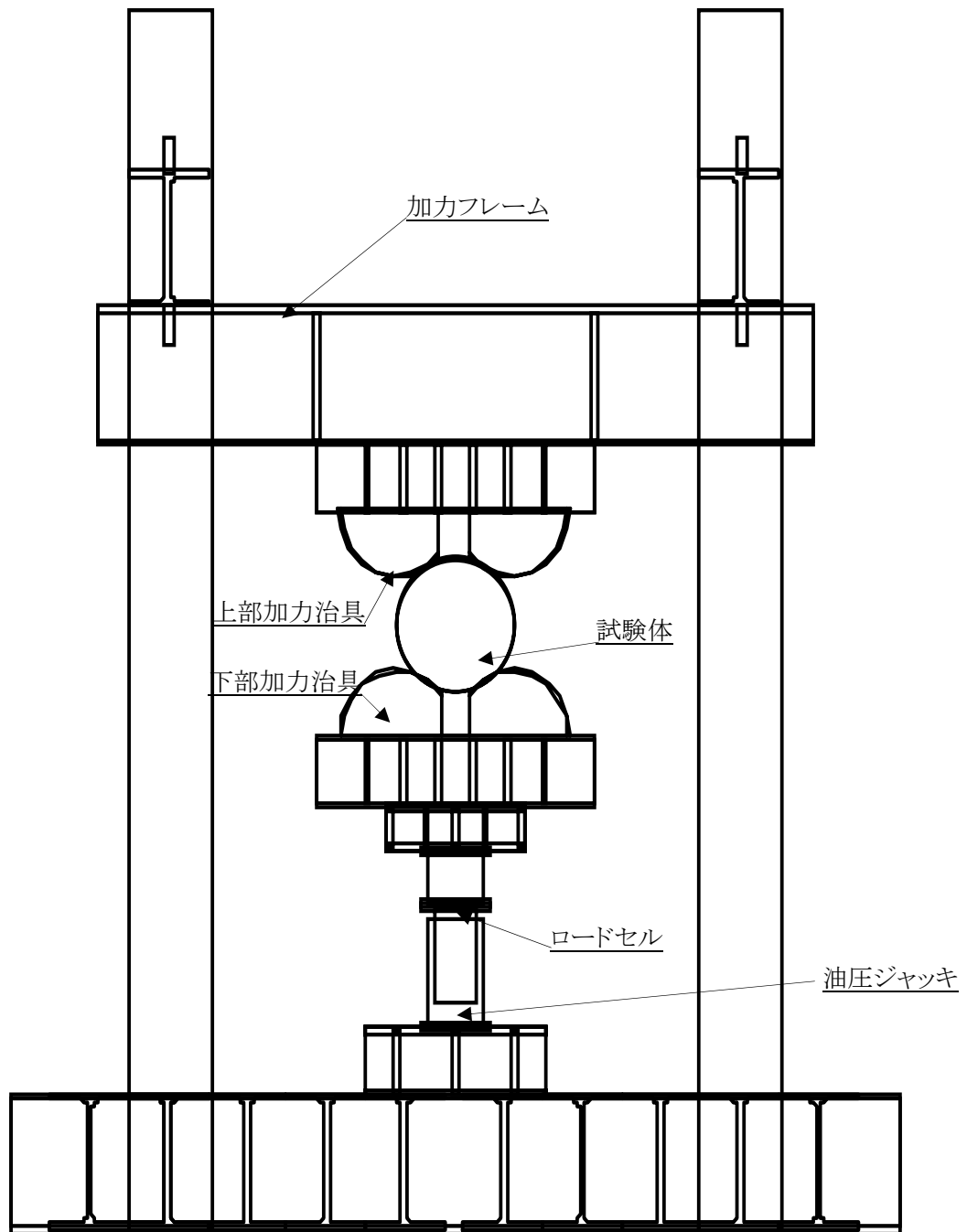


図 1 载荷試験装置概要図(ドラム缶用特殊治具を装着した場合)



図 2 円形ドラムの特殊治具

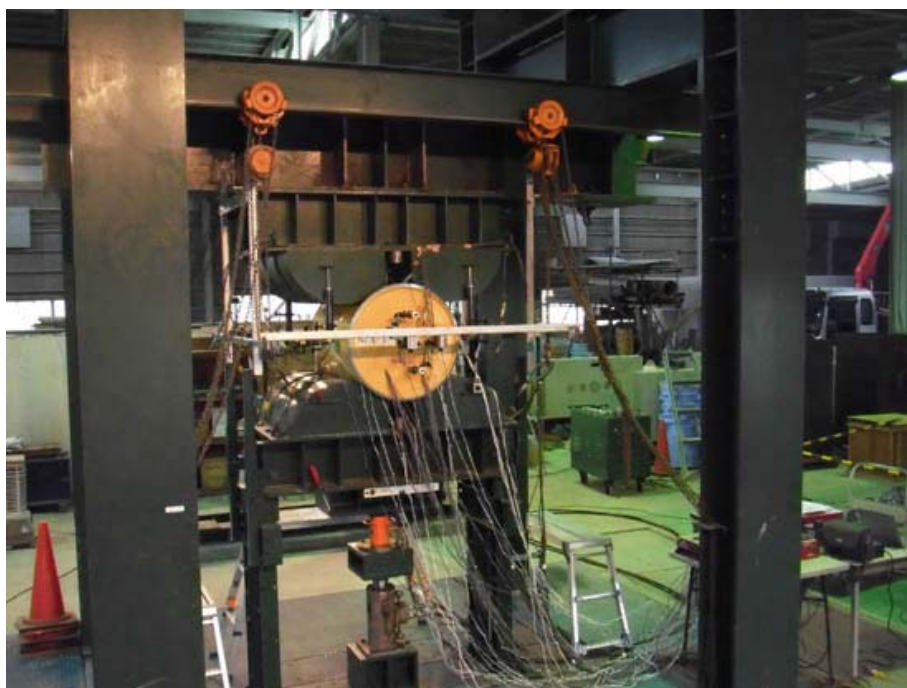


図 3 円形ドラムの設置状況

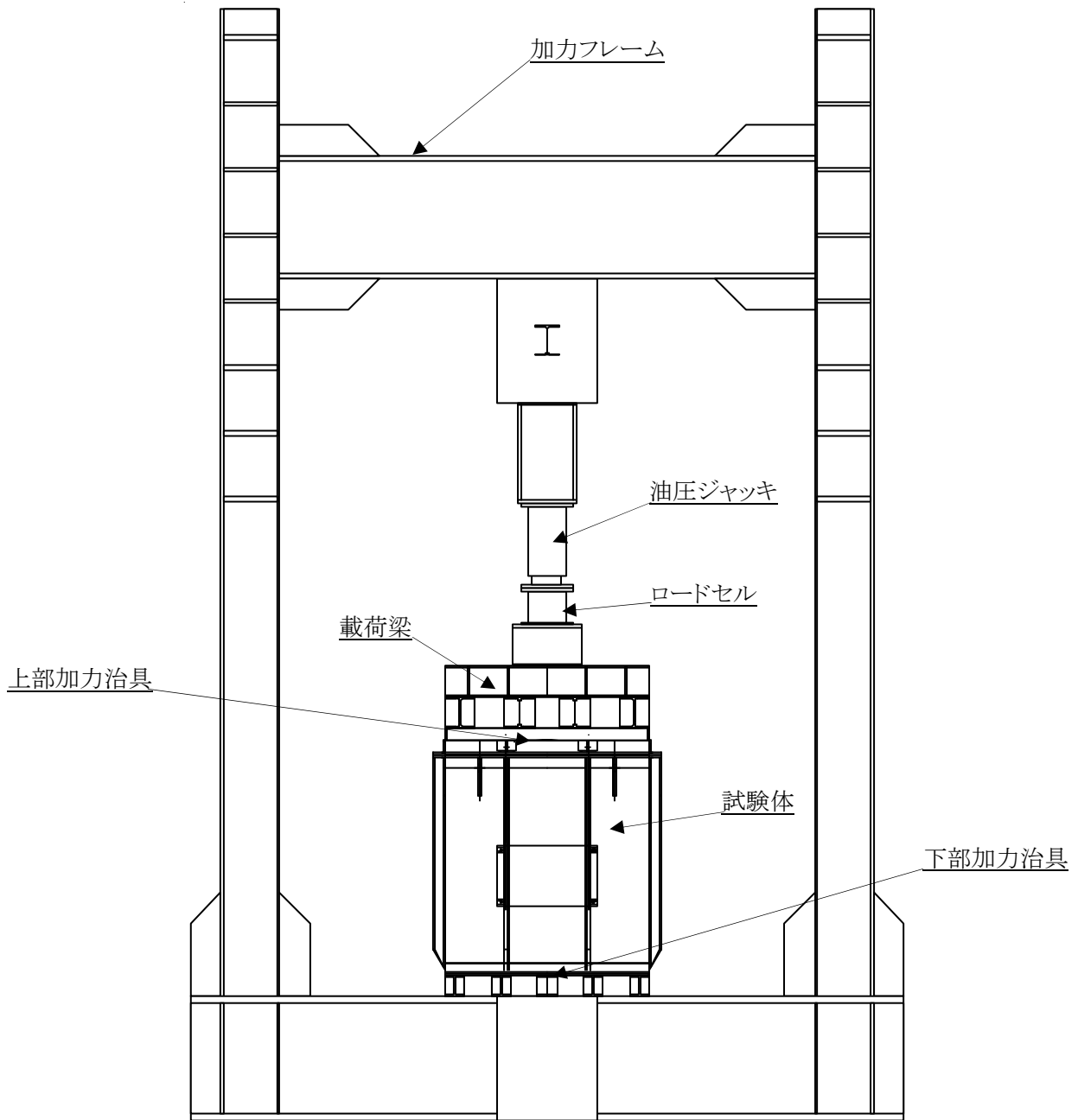


図 4 载荷試験装置概要図(角型容器用特殊治具を装着した場合)



図5 角形容器の上部の载荷梁と特殊治具



図6 角形容器の設置状況

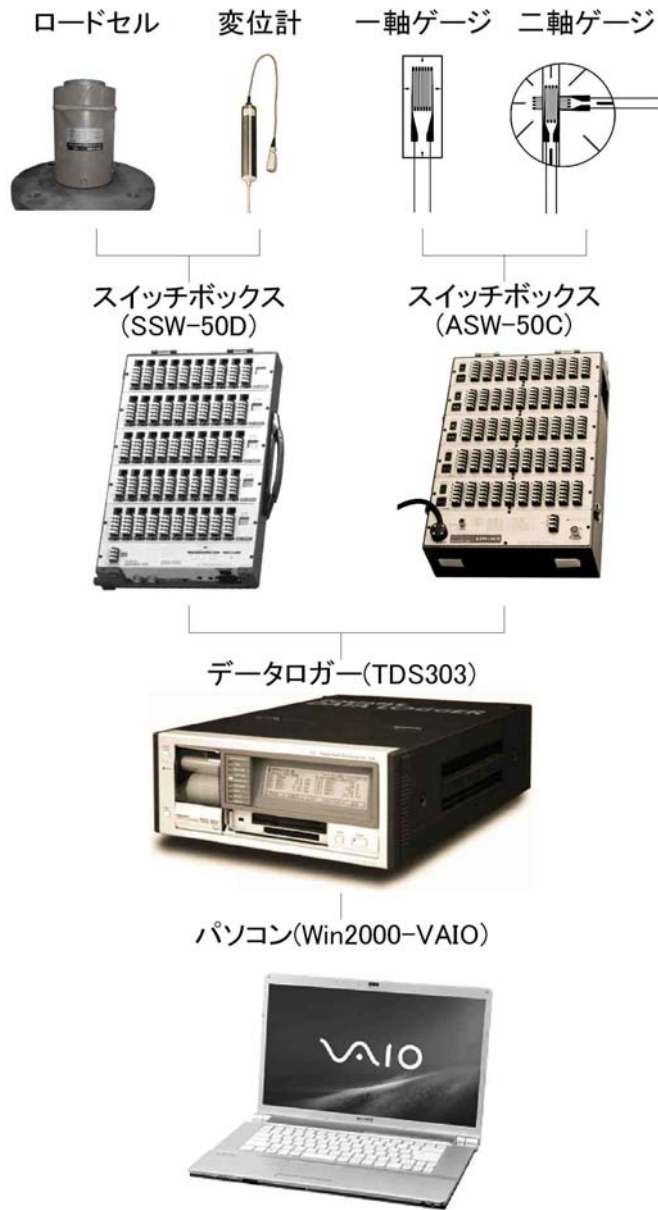


図7 計測システム

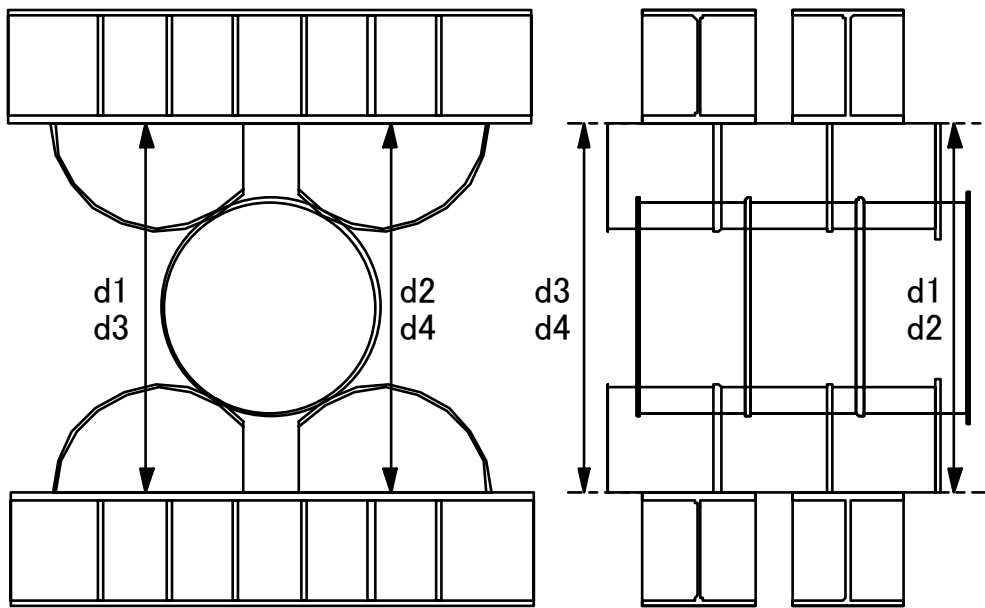


図 8 ドラム缶全体の変位計の計測位置

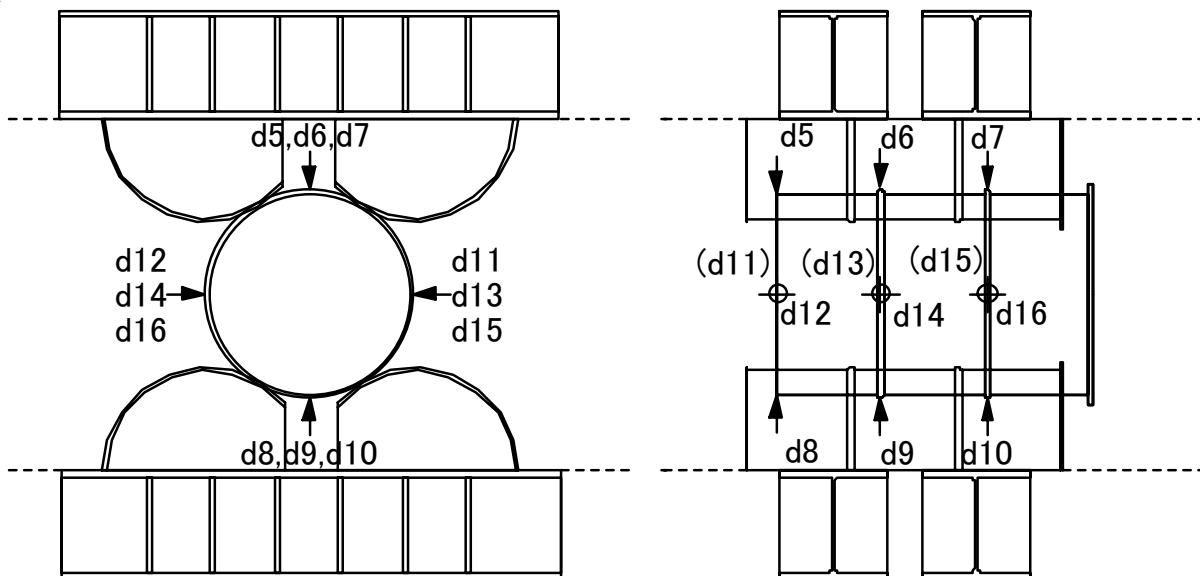


図 9 ドラム缶側部輪帯の変位計の計測位置

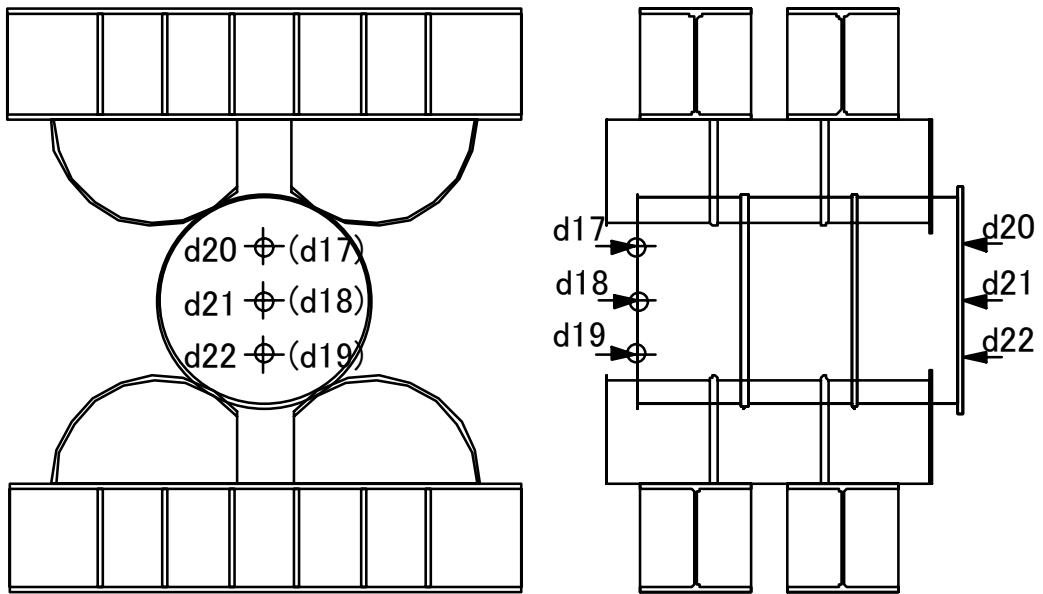


図 10 ドラム缶チャイム及び蓋の変位計の計測位置

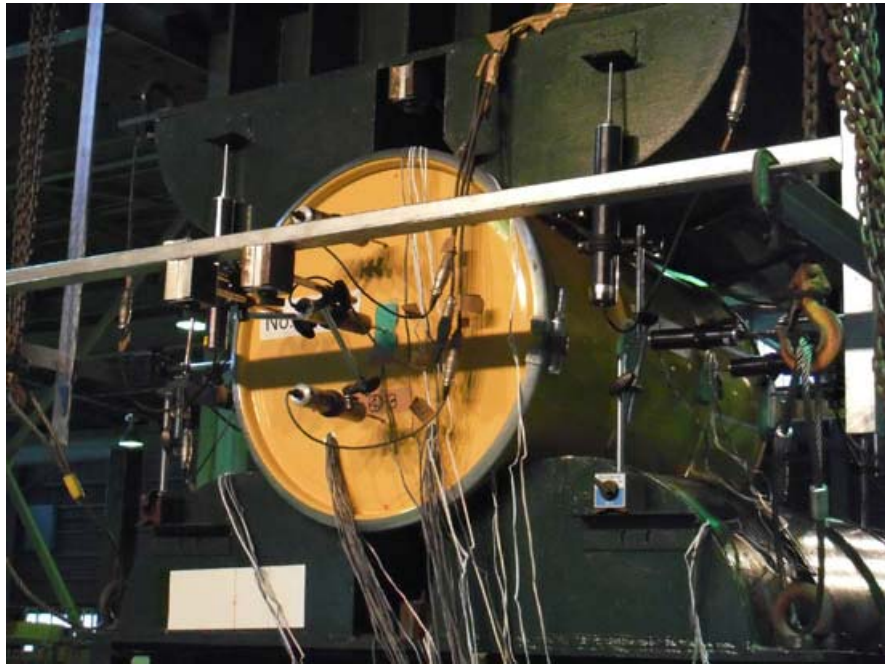


図 11 ドラム缶の変位計の設置状況

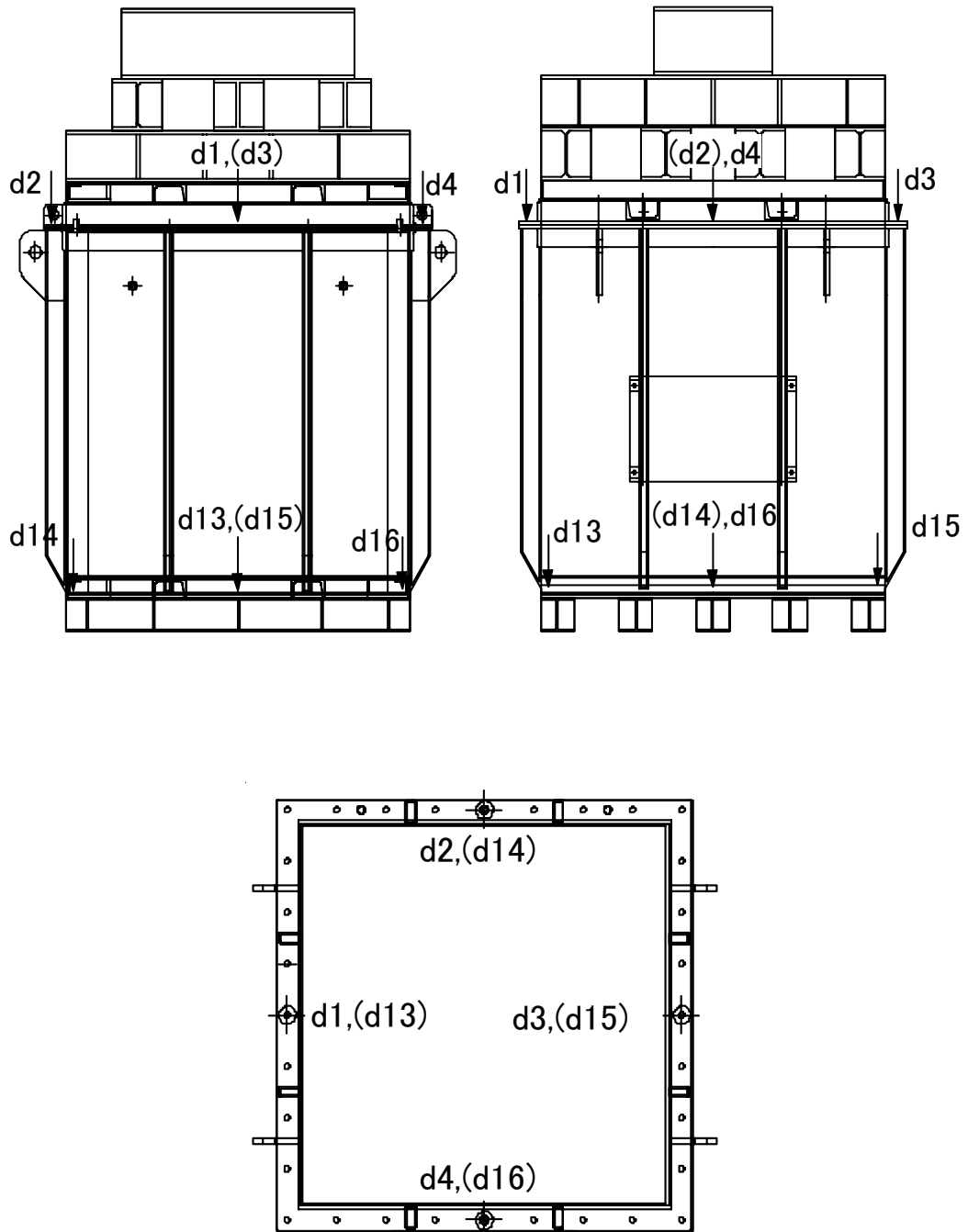


図 12 角型容器上蓋部及び底部の変位計の設置状況

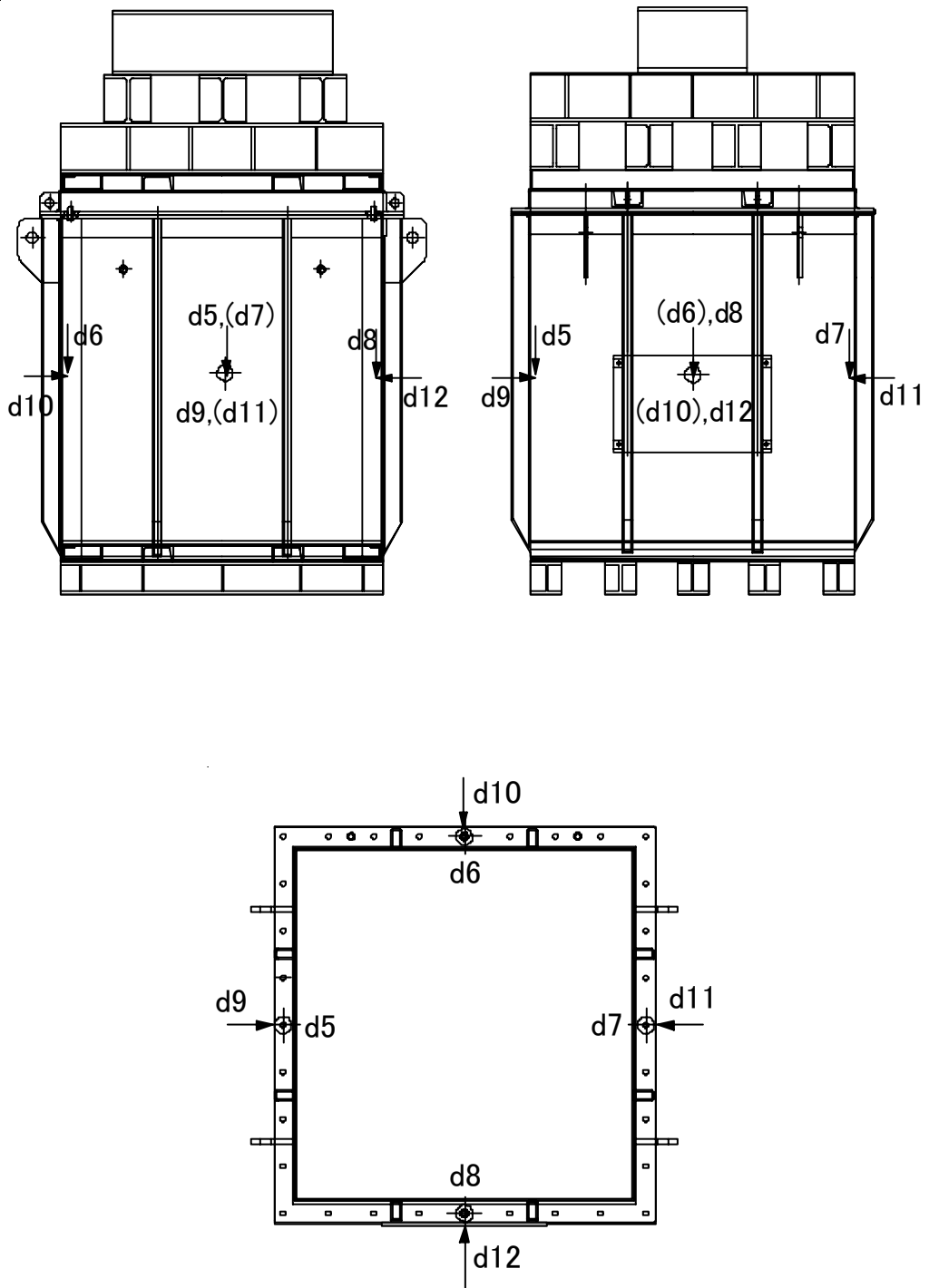


図 13 角型容器側部の変位計の設置位置

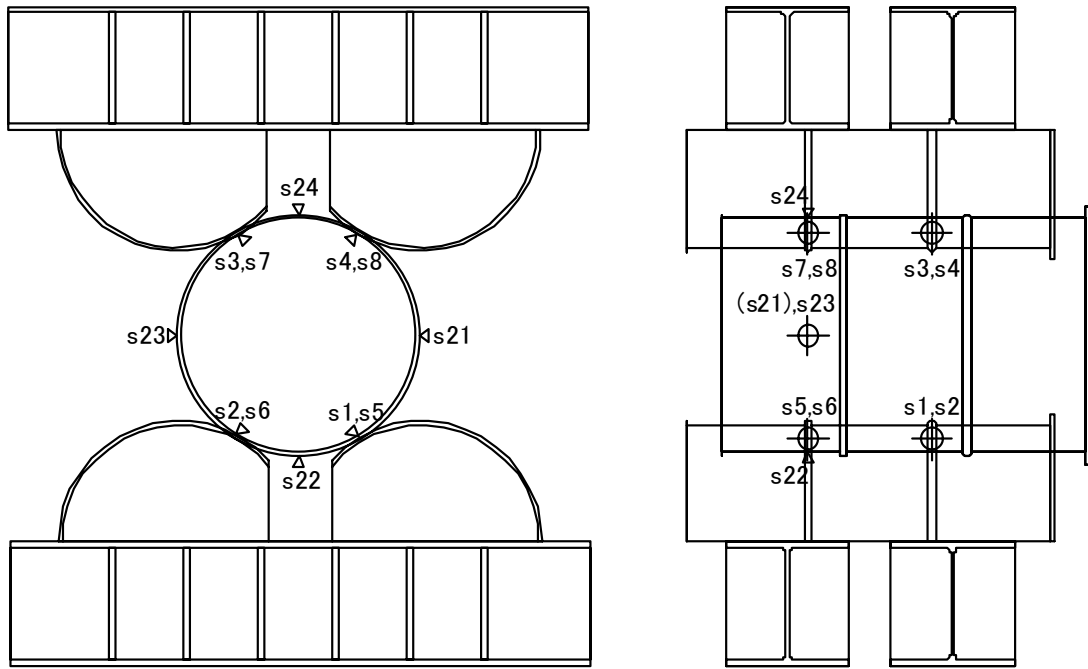


図 14 加力治具接触点のドラム缶内部及び外部のひずみ計の設置位置

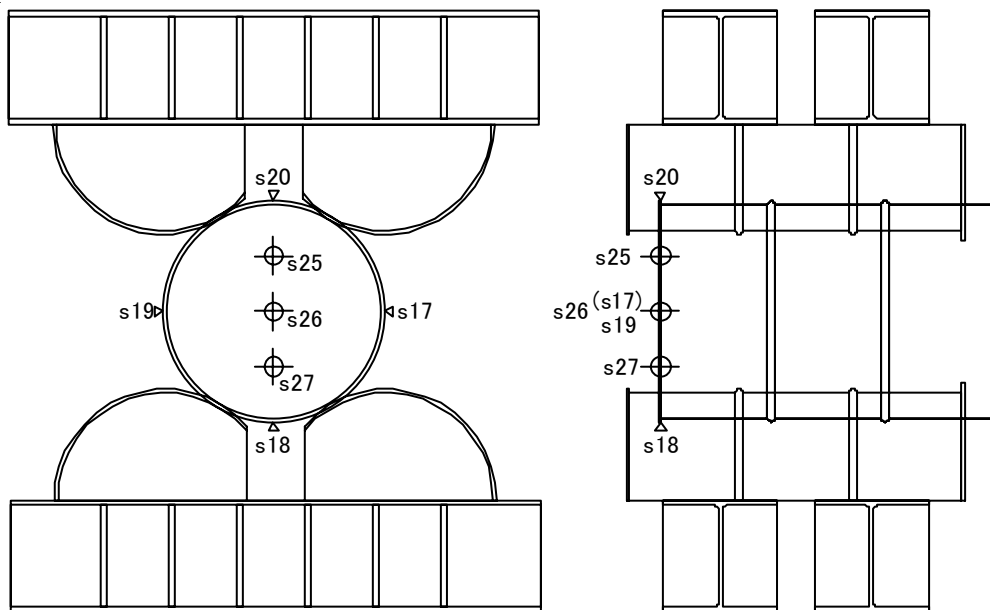


図 15 試験体底部チェーンの外部ひずみ計の設置位置

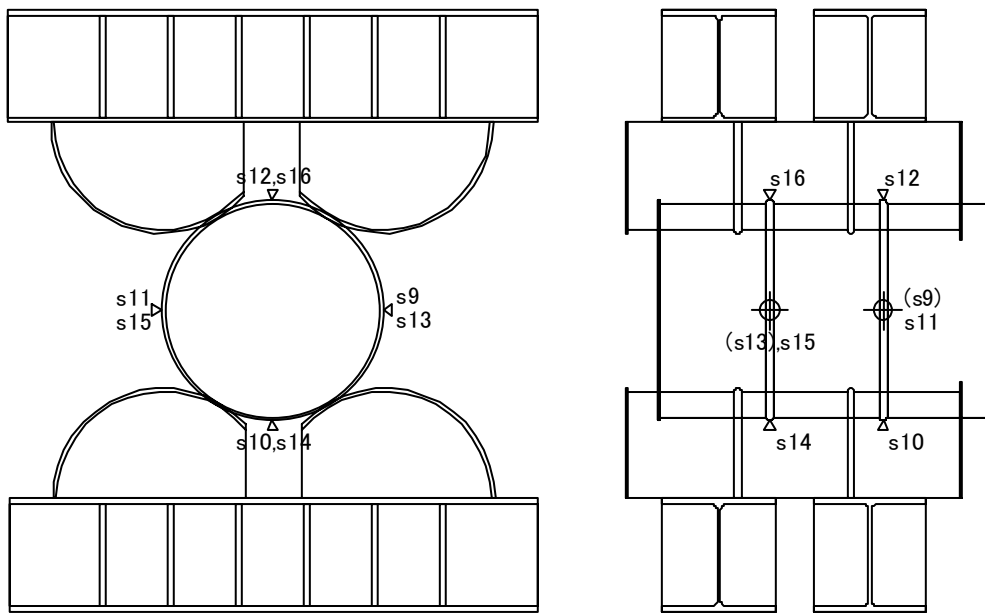


図 16 ドラム缶蓋輪帯部のひずみ計の設置位置

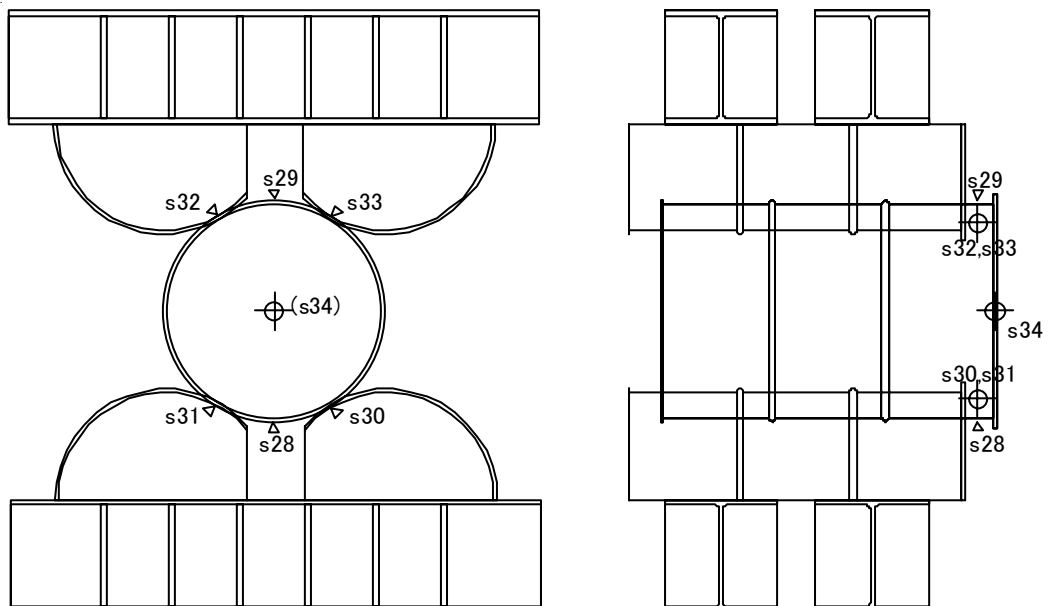


図 17 ドラム缶蓋部付近のひずみ計の設置位置

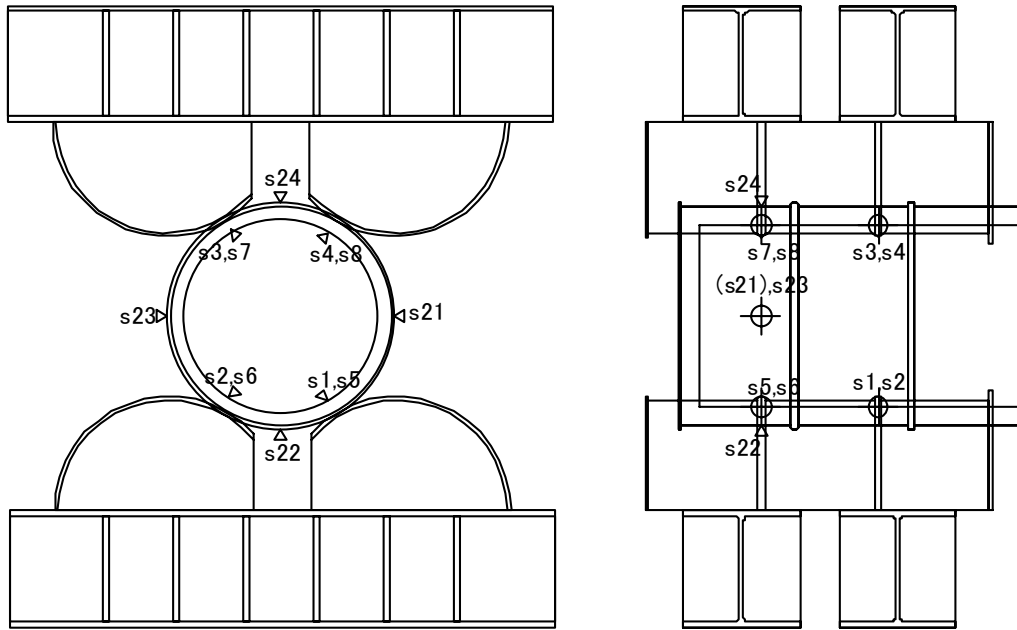


図 18 加力治具接触点の内貼りコンクリートドラム缶内部及び外部のひずみ計の設置位置

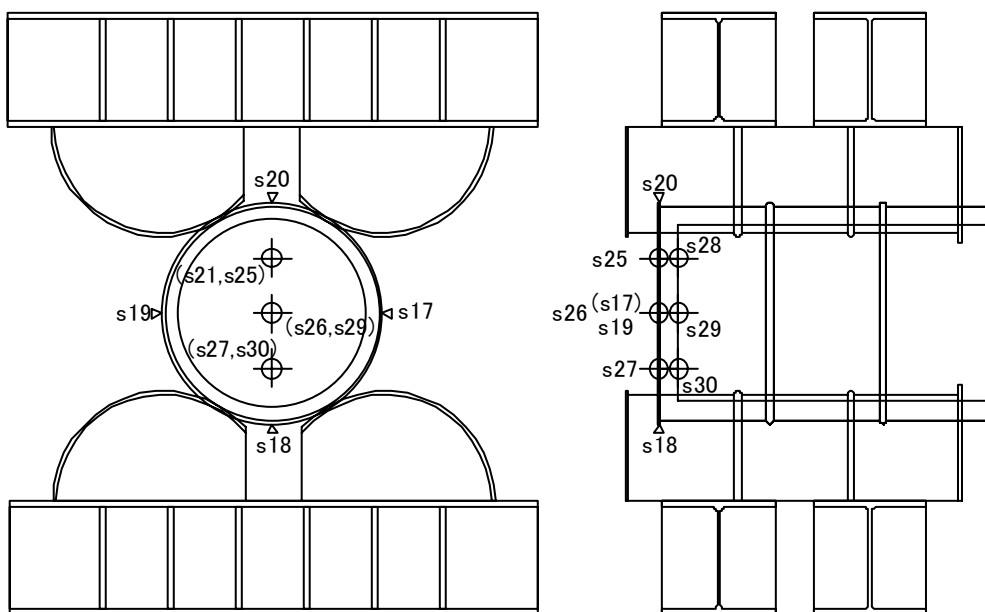


図 19 試験体底部チャイムの外部及び内貼りコンクリートのひずみ計の設置位置

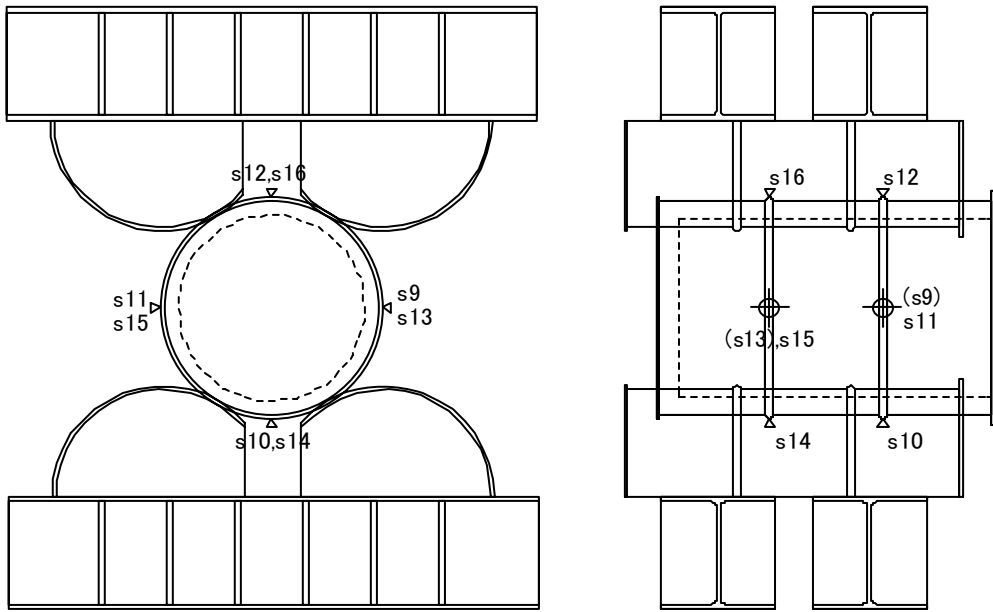


図 20 内貼りコンクリートドラム缶輪帯部のひずみ計の設置位置

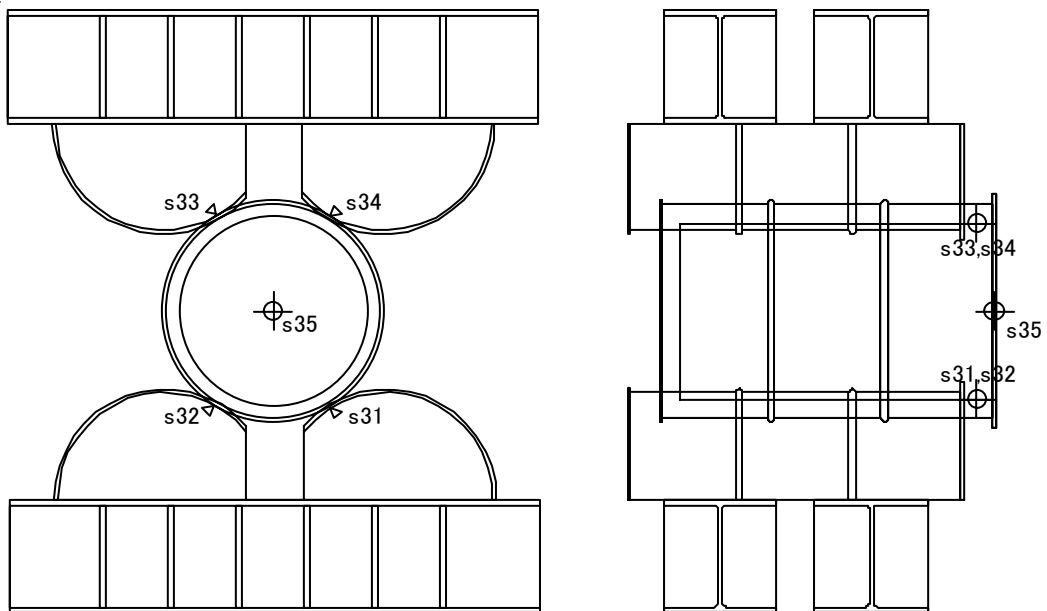


図 21 内貼りコンクリートドラム缶蓋部付近のひずみ計の設置位置

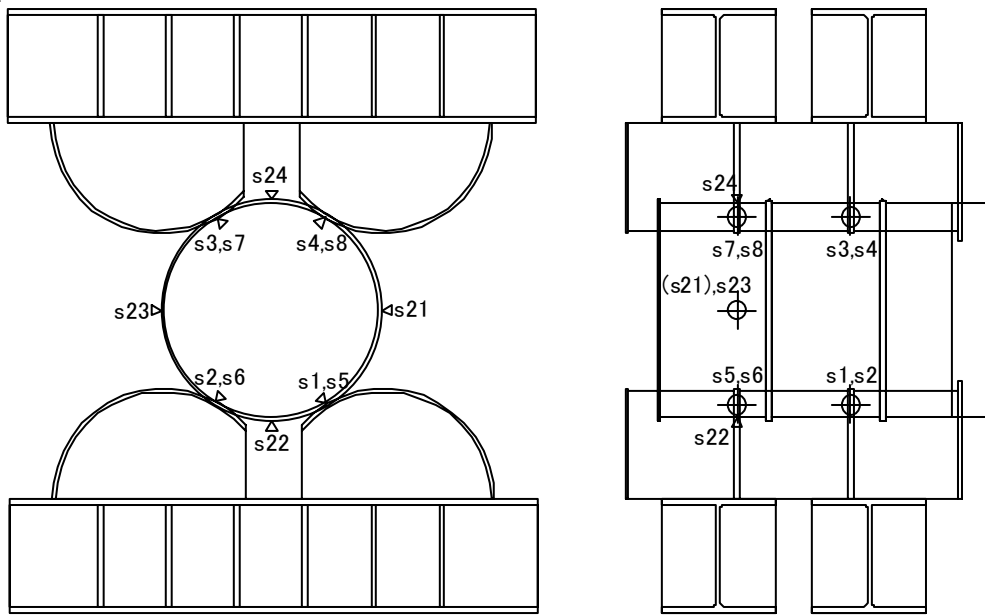


図 22 加力治具接触点のセメント固化体内部及び外部のひずみ計の設置位置

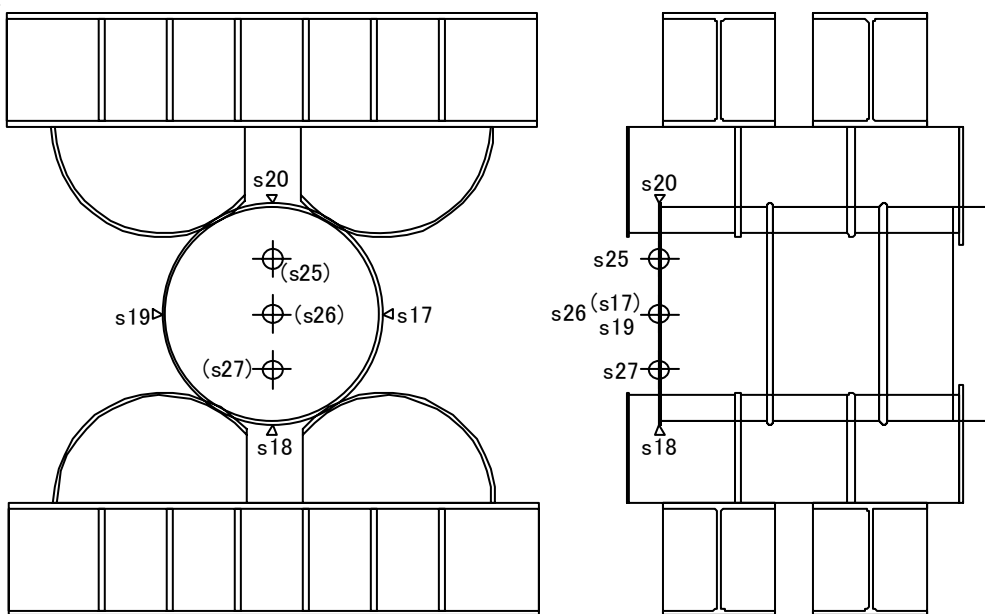


図 23 試験体(セメント固化体)底部チャイムの外部ひずみ計の設置位置

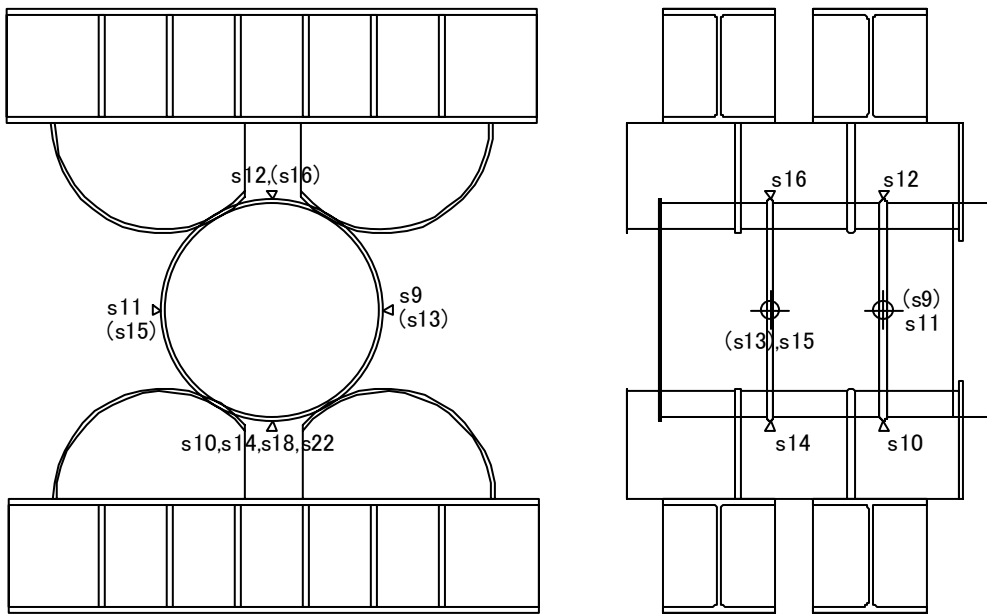


図 24 ドラム缶(セメント固化体) 輪帯部のひずみ計の設置位置

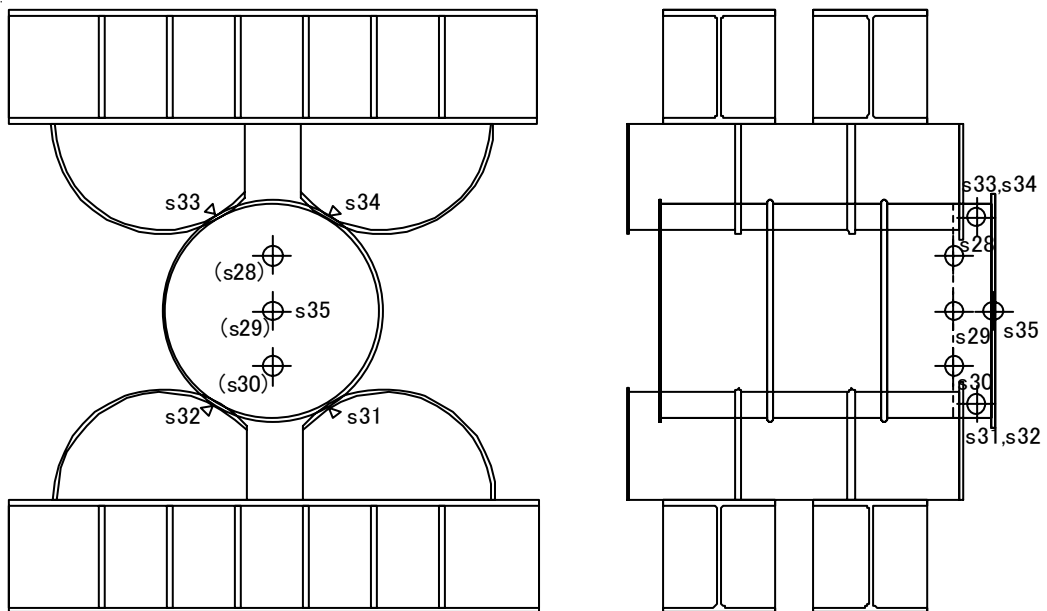


図 25 セメント固化体頂面及びドラム缶蓋部付近のひずみ計の設置位置

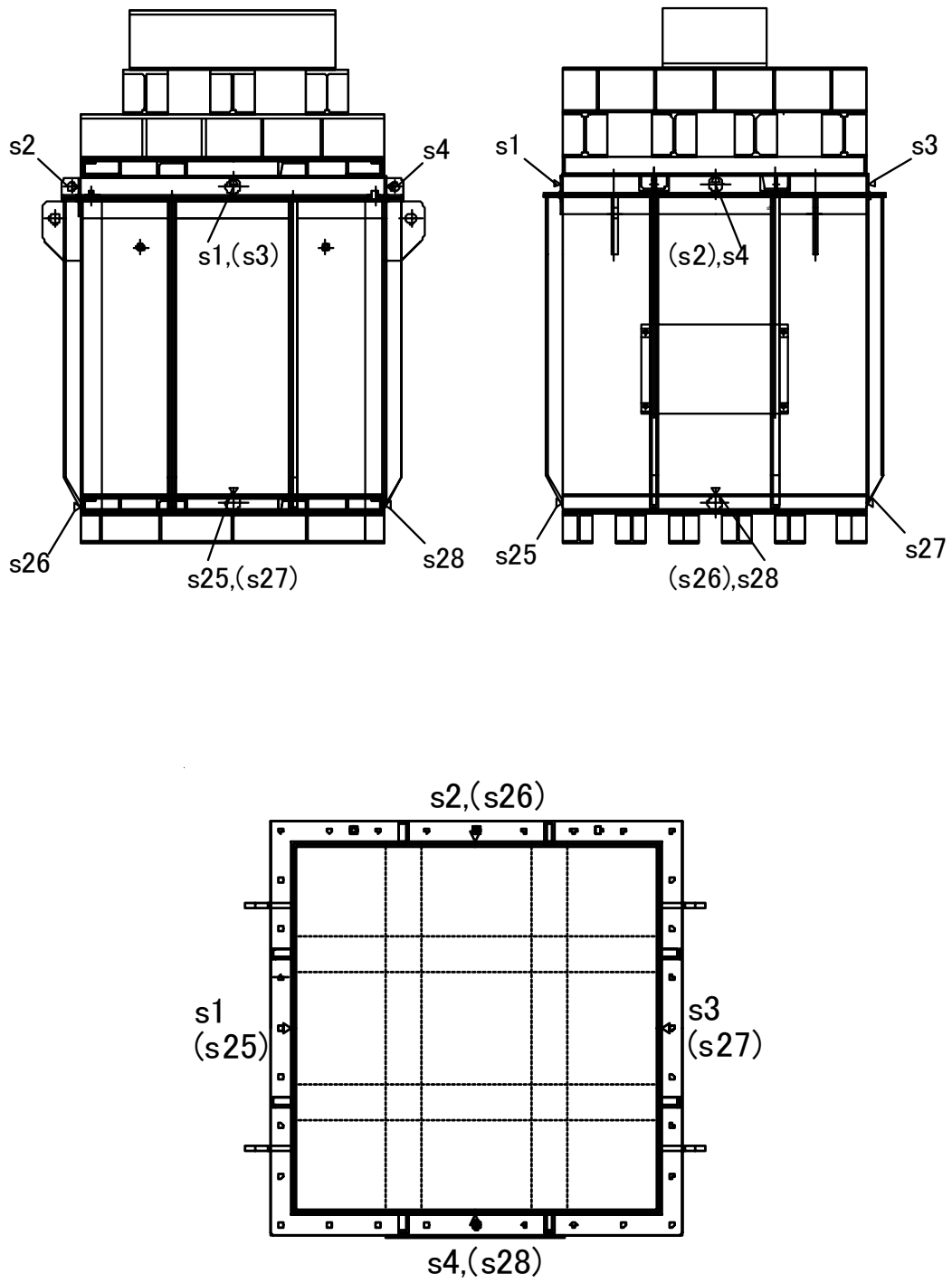


図 26 角型容器の蓋部及び底部の外部鋼板のひずみ計の設置位置

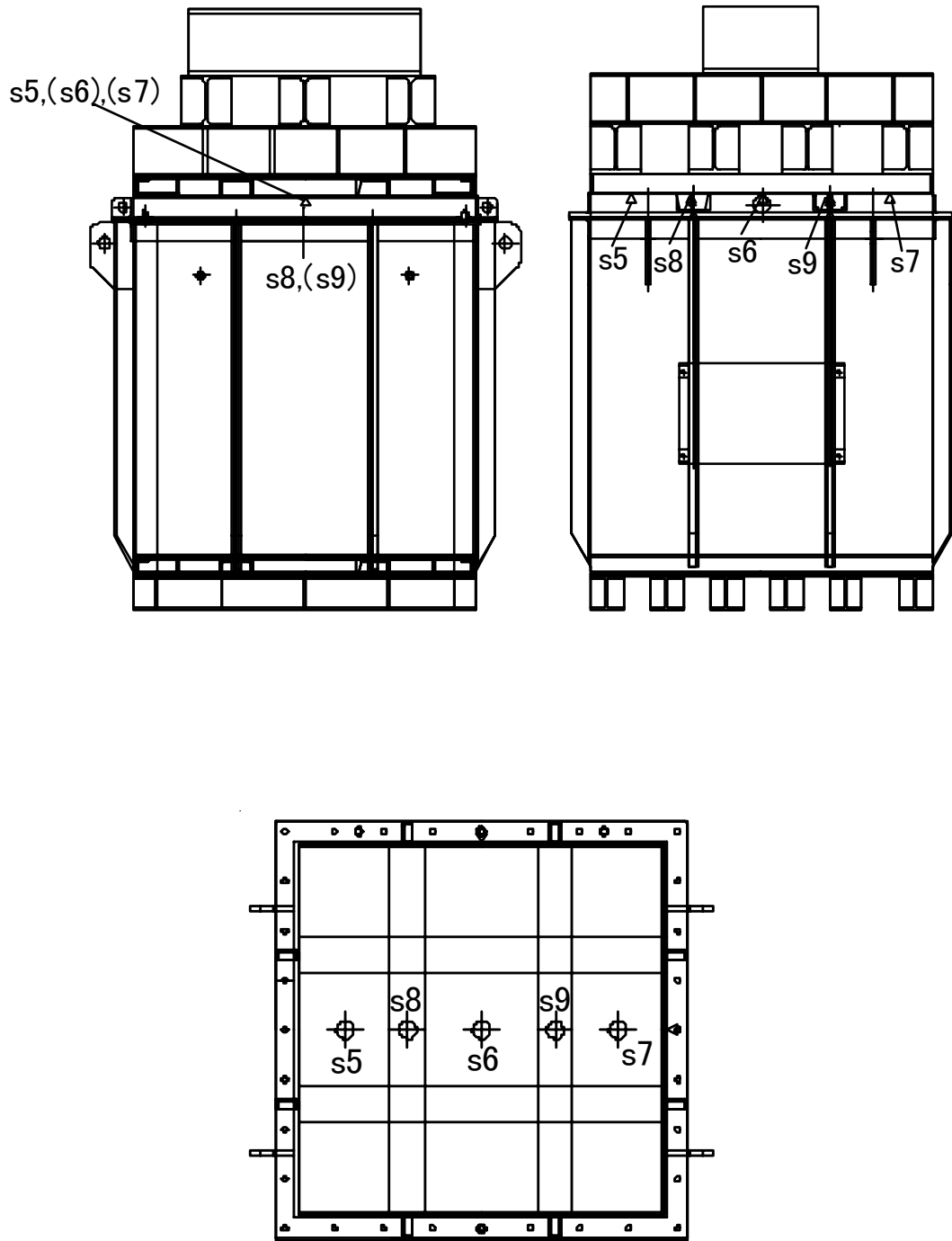


図 27 角型容器の蓋部の溝型鋼板上のひずみ計の設置位置

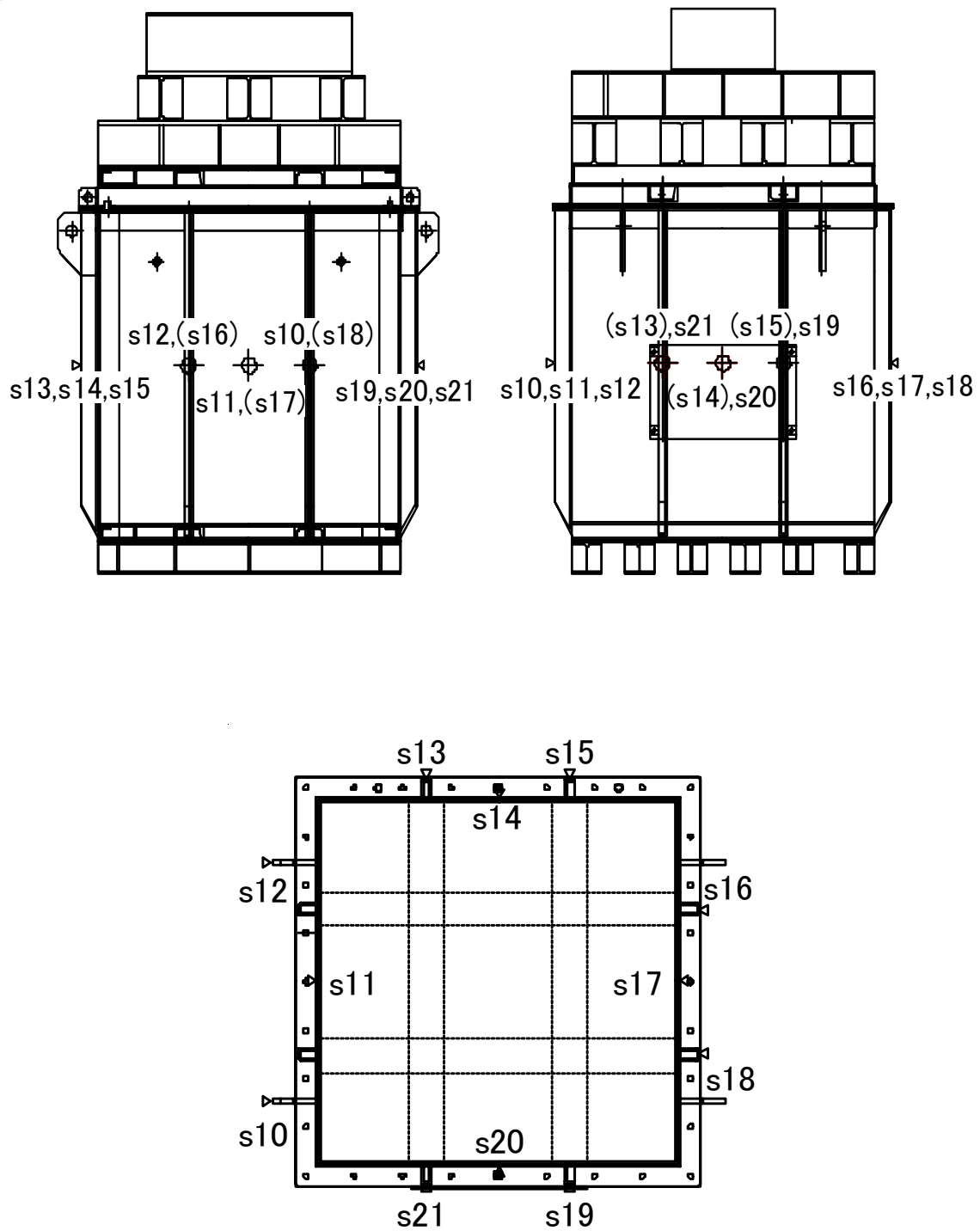


図 28 角型容器の側部鋼板中央部及び縦リブ上のひずみ計の設置位置

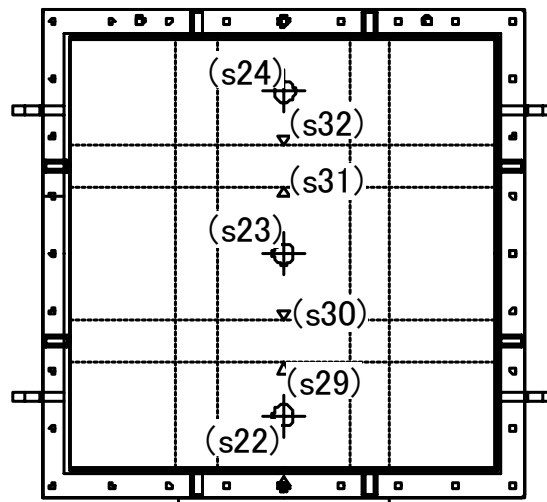
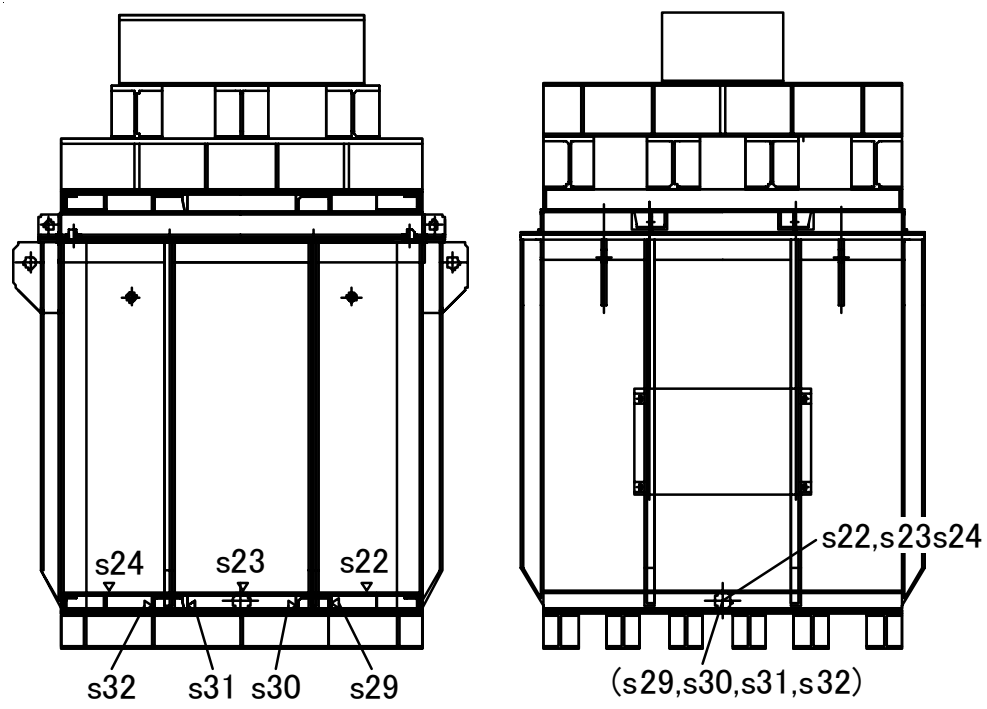


図 29 角型容器の底部の溝型鋼板上のひずみ計の設置位置

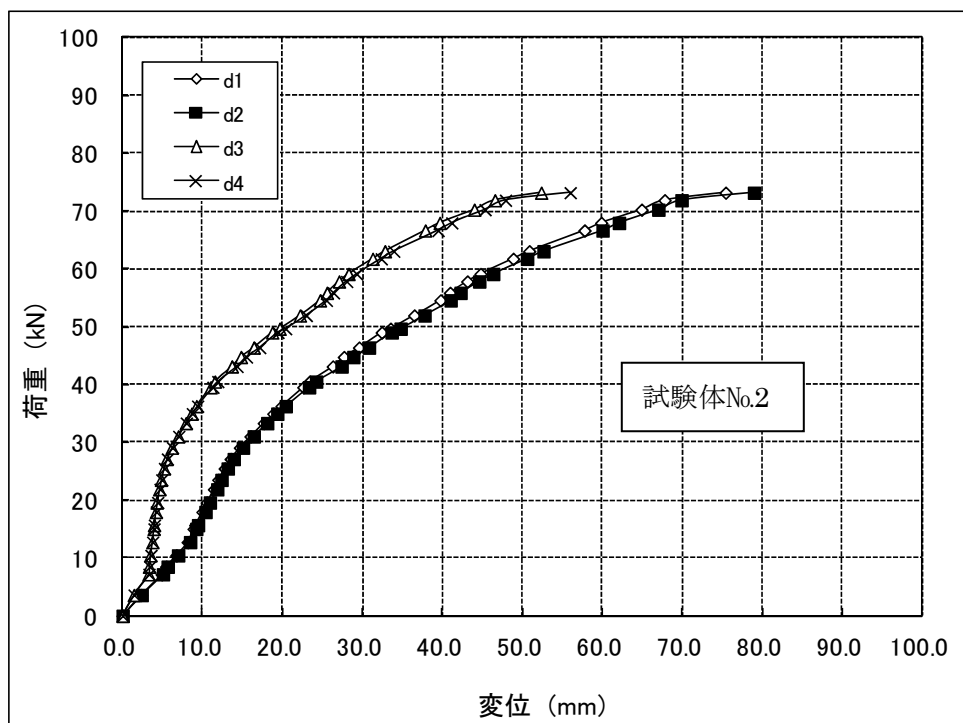
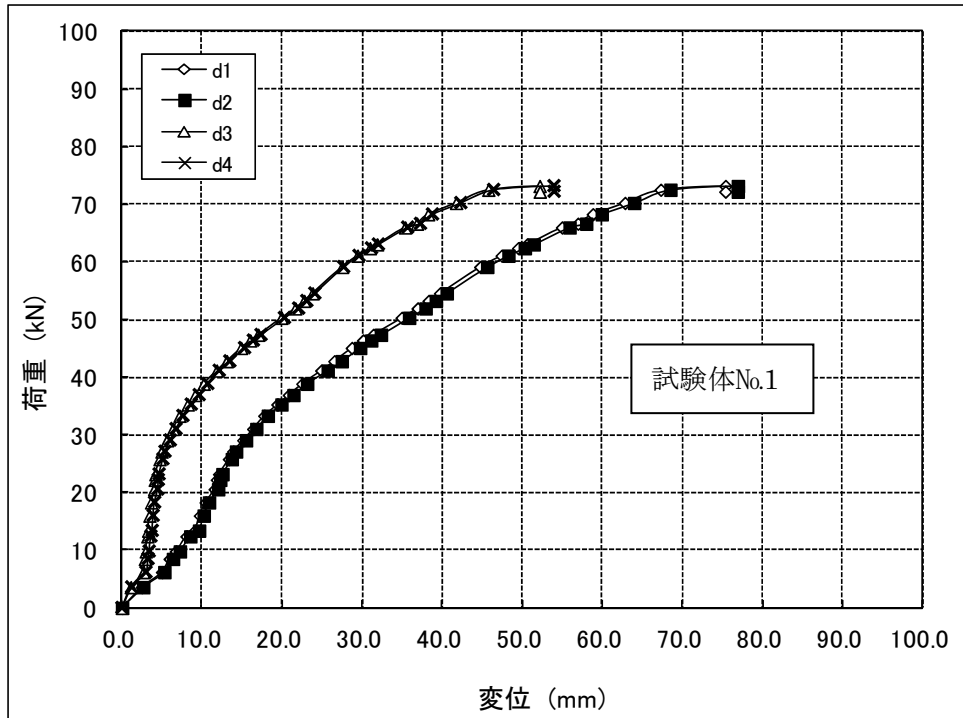


図 30 空ドラム缶 H 級の鉛直変位

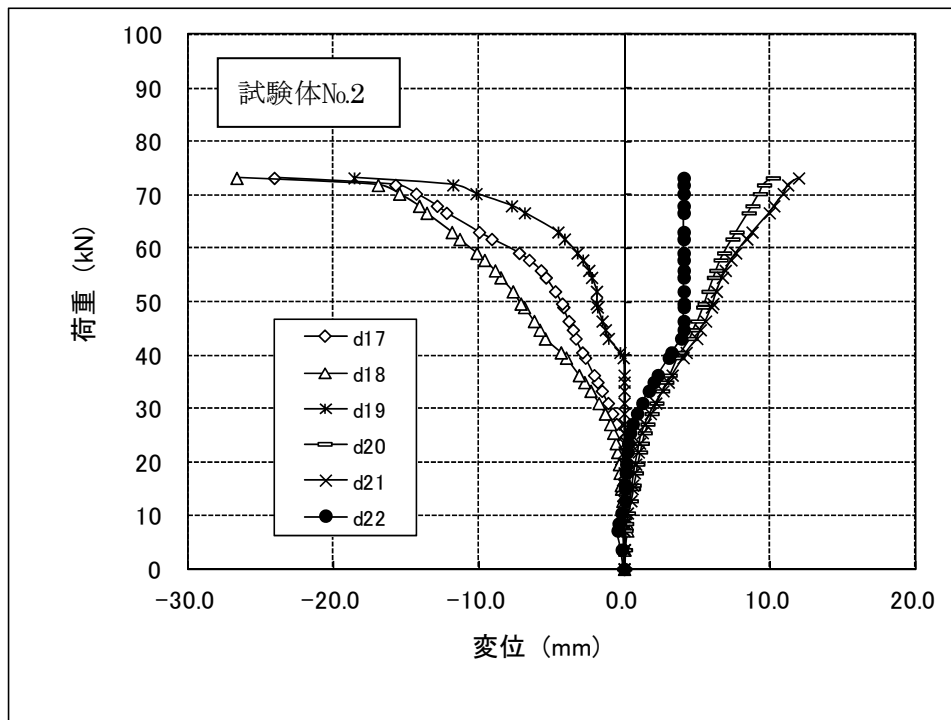
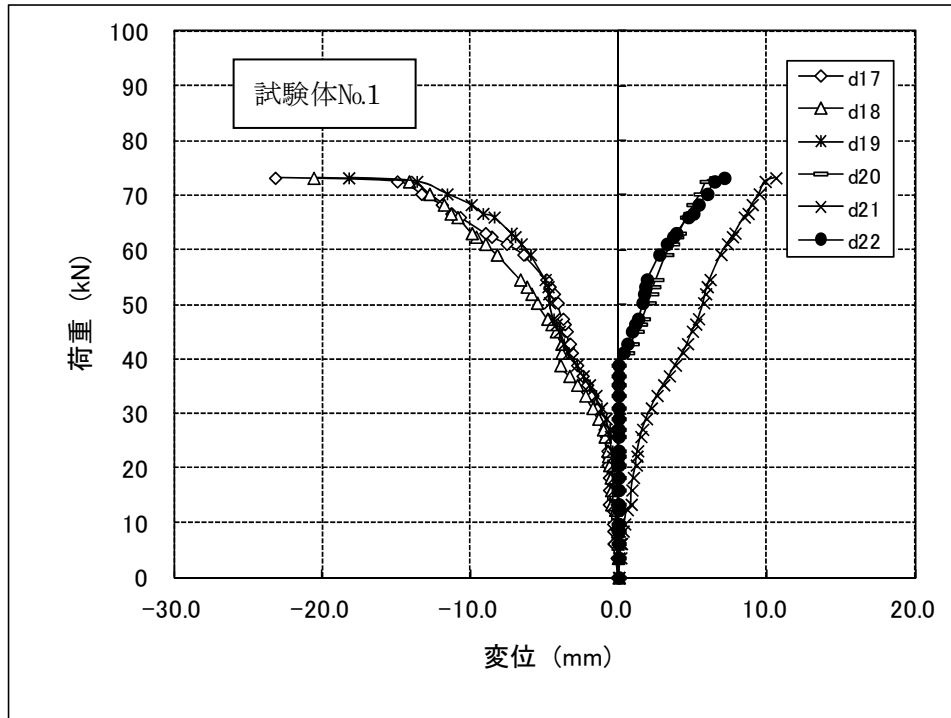


図 31 空ドラム缶 H 級のチャイム(17, 18, 19)及び蓋(20,21,22)の変位

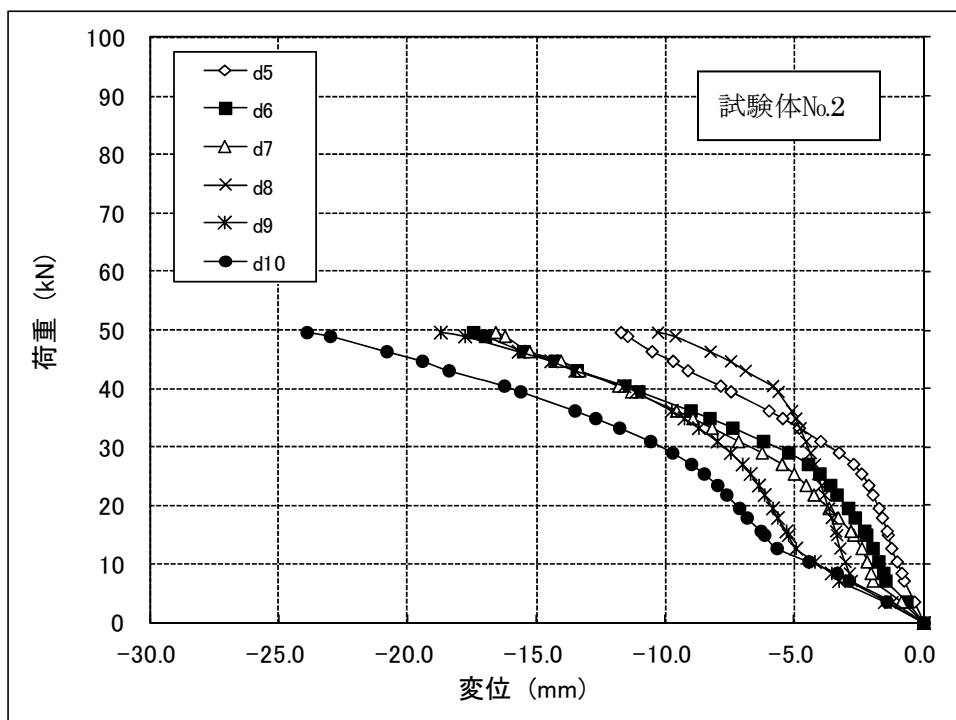
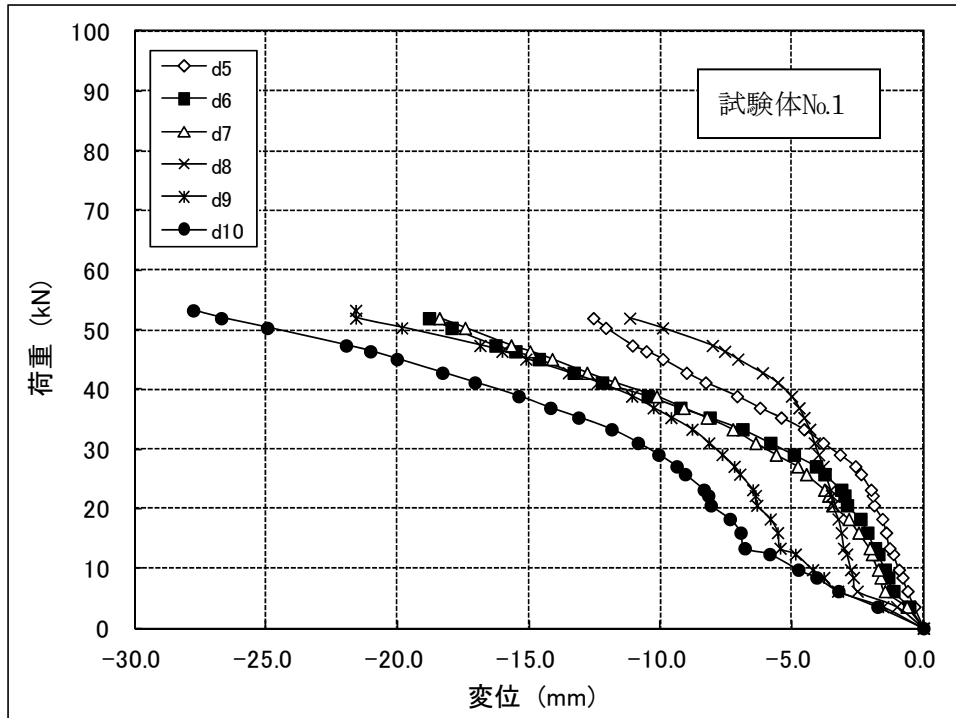


図 32 空ドラム缶 H 級のチャイム部淵周(5,8)及び輪帯(6, 7, 9, 10)の上下部の変位

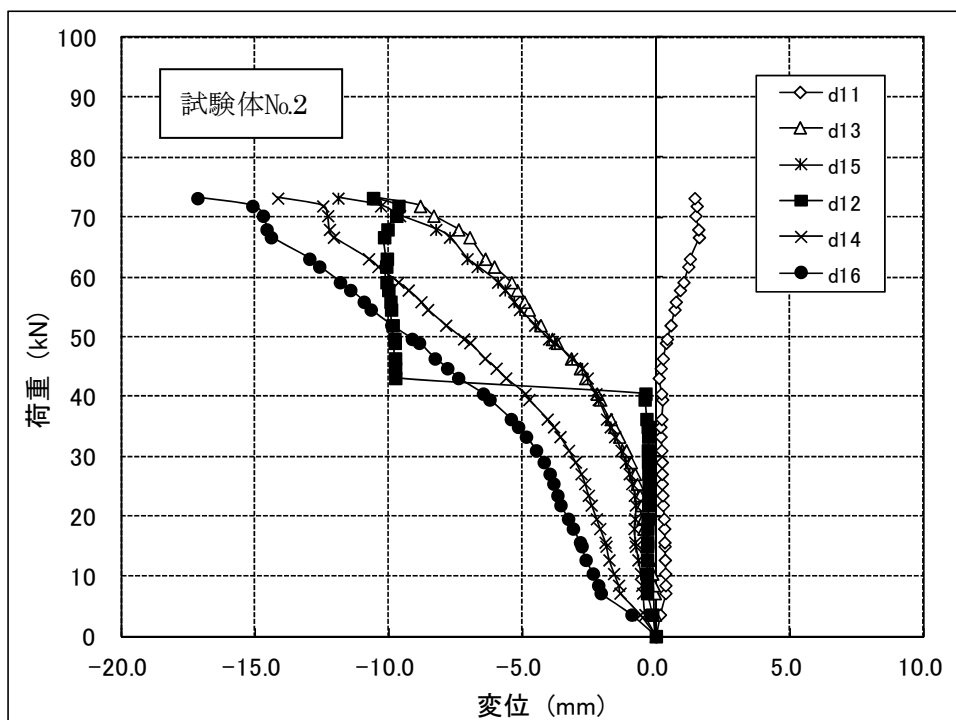
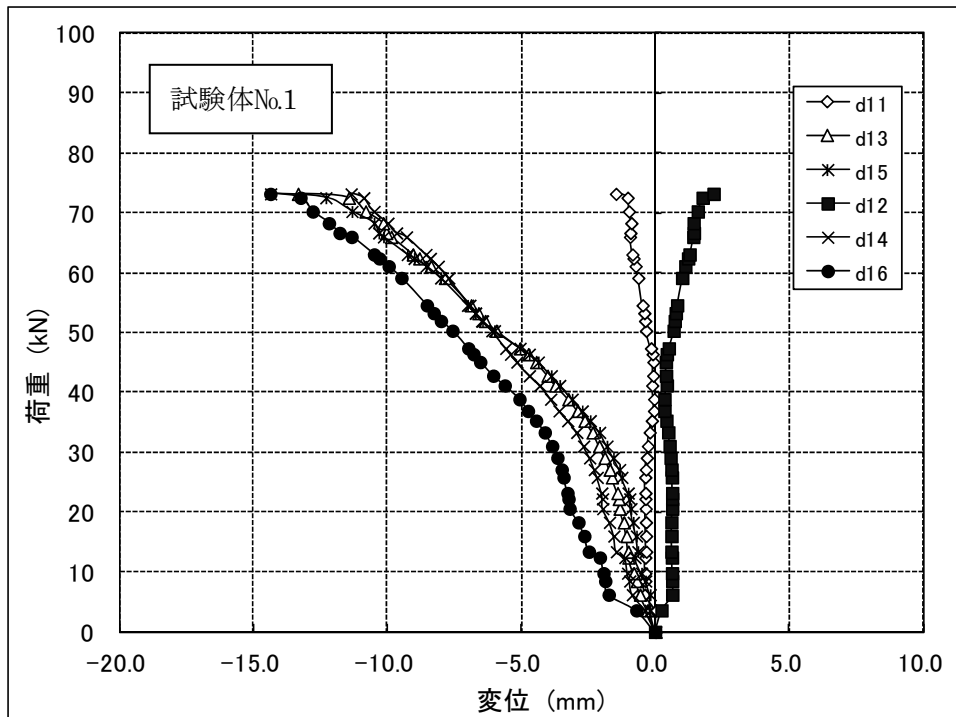


図 33 空ドラム缶 H 級のチャイム部淵周(11,12)及び輪帯(13, 14, 15, 16)の側部の変位

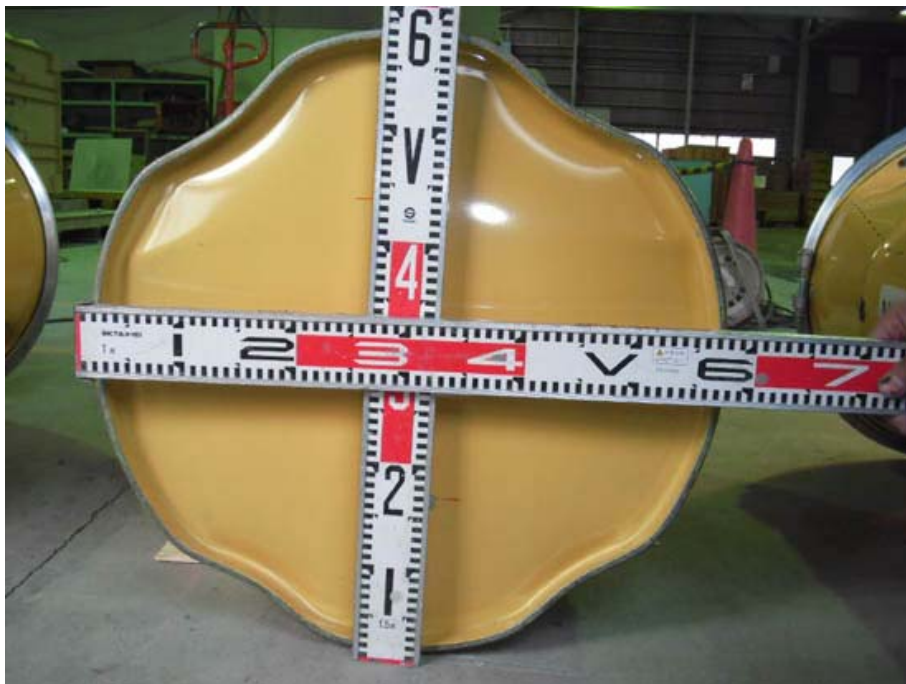


図 34 空ドラム缶 H 級(試験体No.1)の裁荷後の変形の状況(1/2)

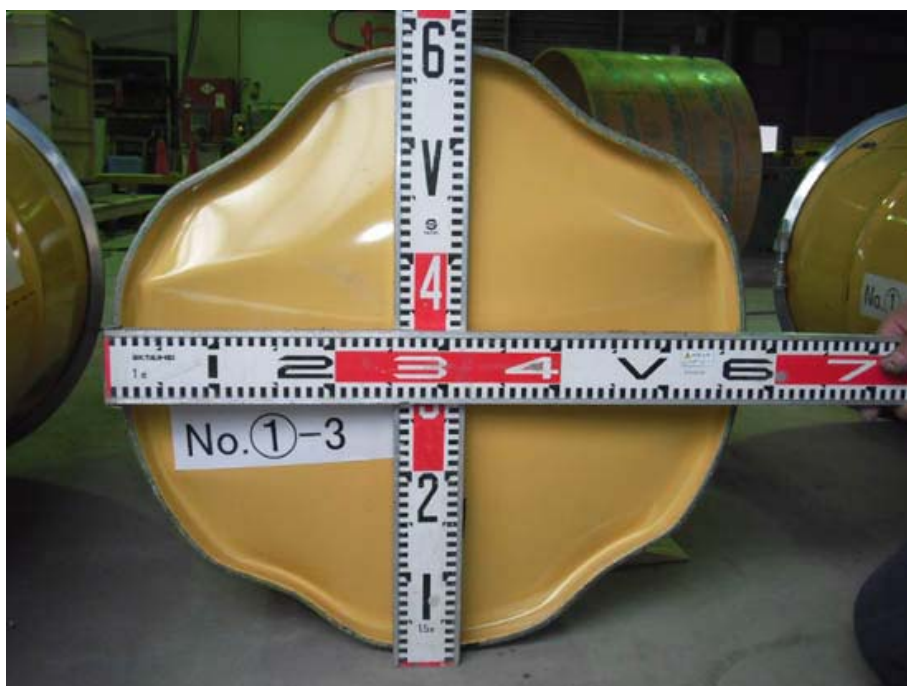


図 34 空ドラム缶 H 級 (試験体No.2) の裁荷後の変形の状況 (2/2)

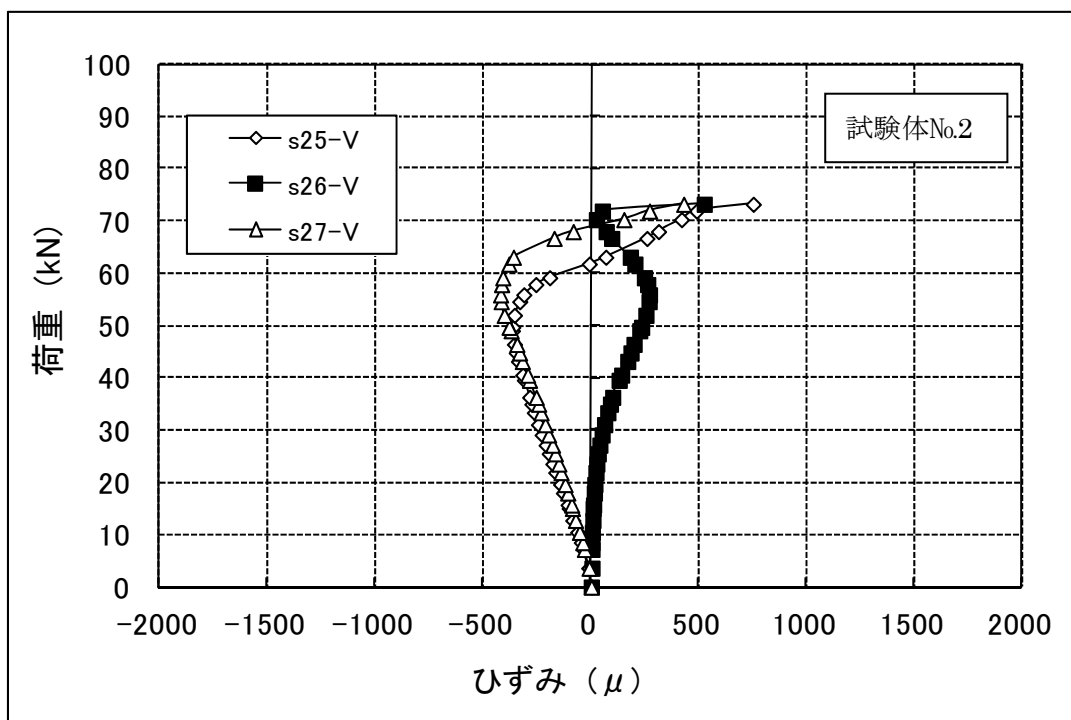
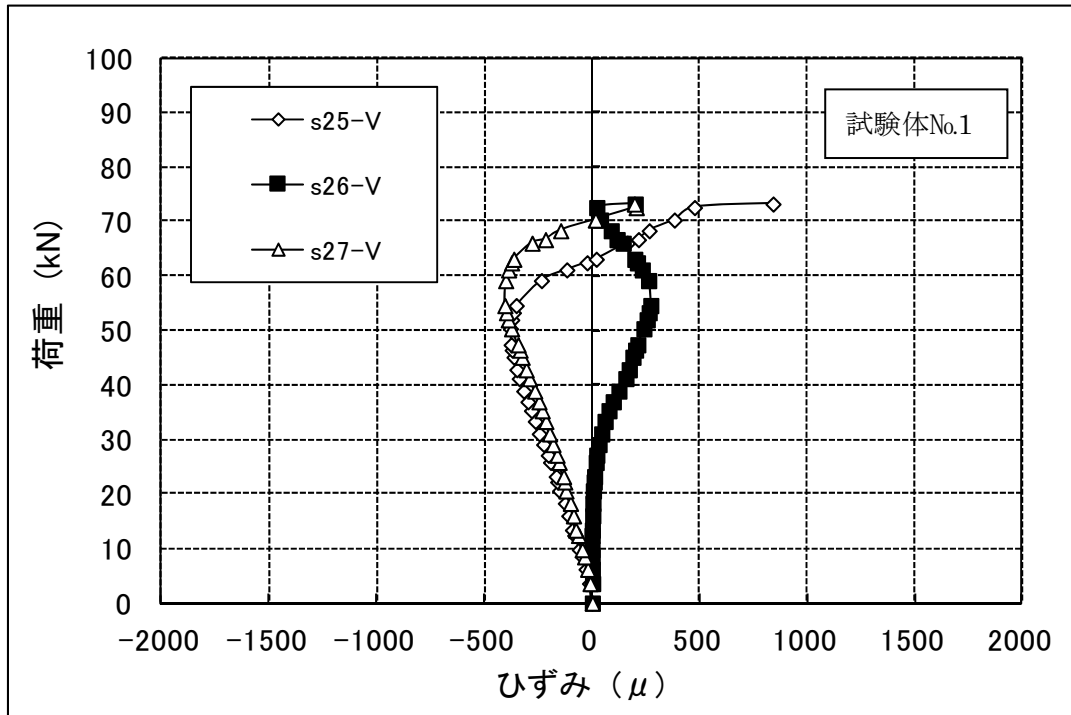


図 35 空ドラム缶 H 級のチャイムの鉛直方向ひずみ

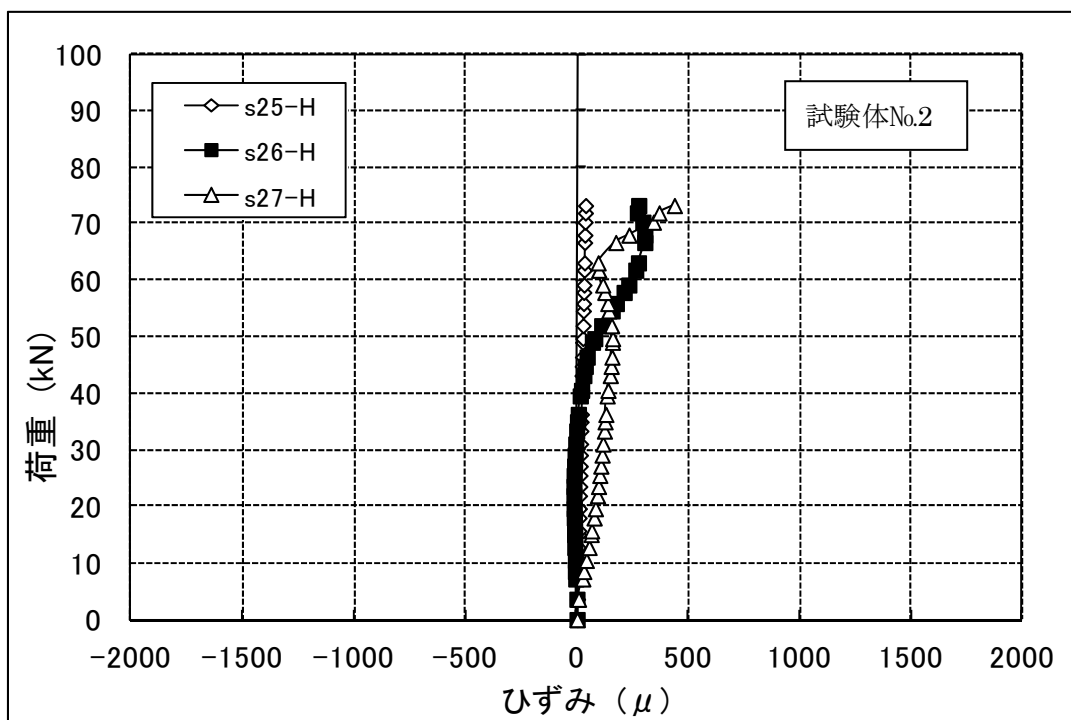
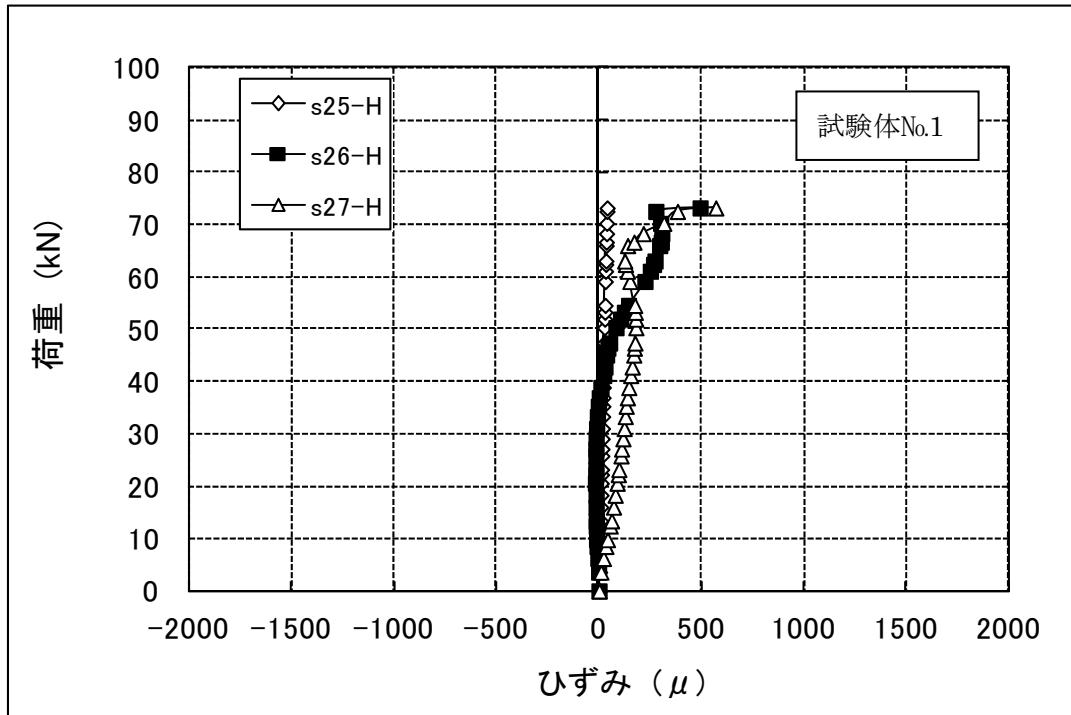


図 36 空ドラム缶 H 級のチャイムの水平方向ひずみ

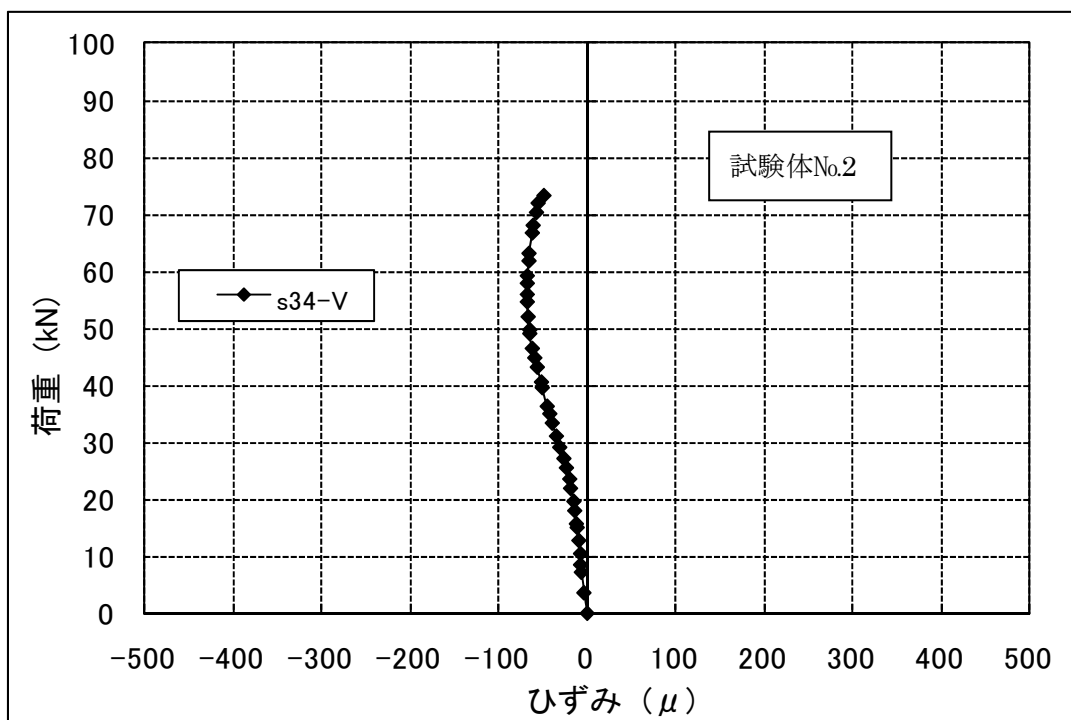
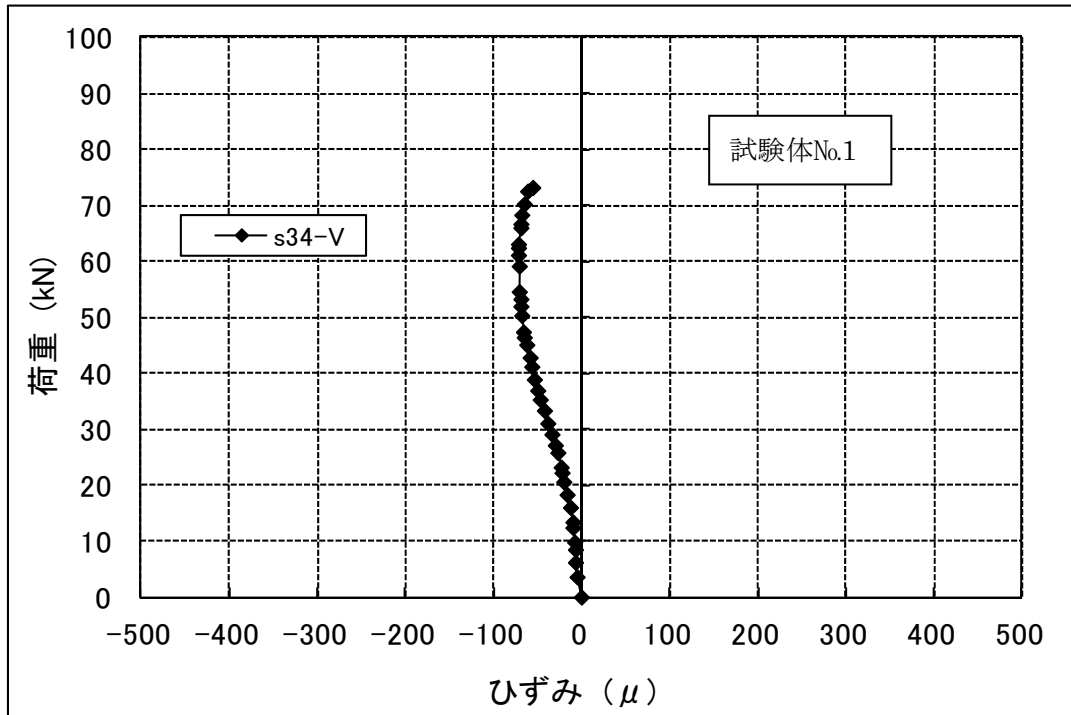


図 37 空ドラム缶 H 級の蓋の鉛直方向ひずみ

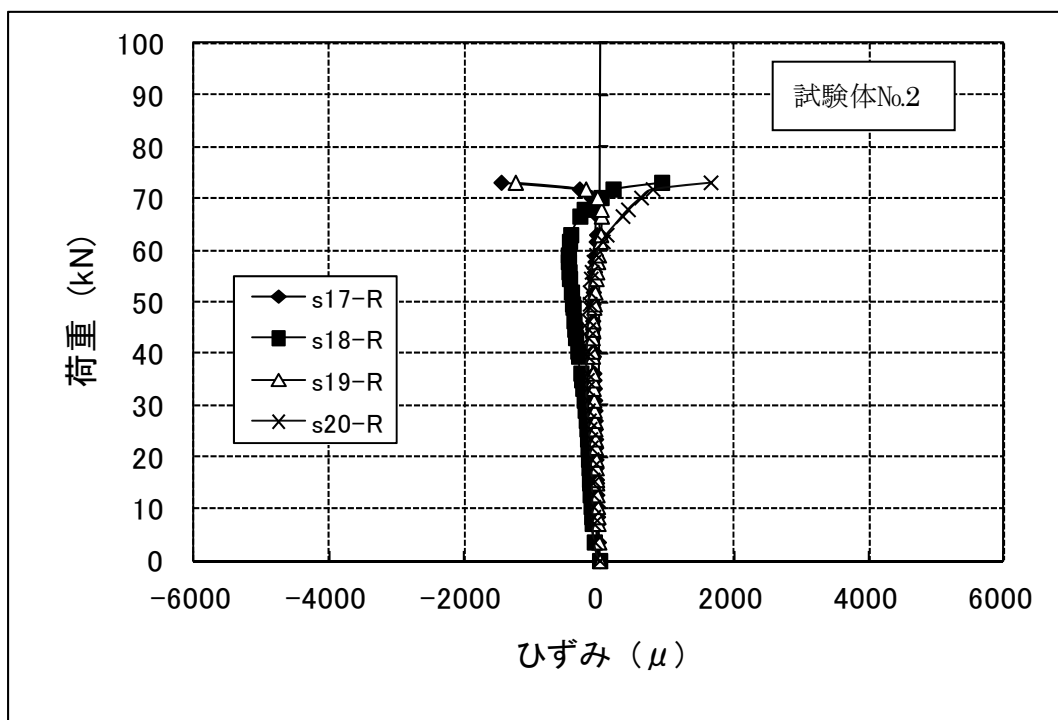
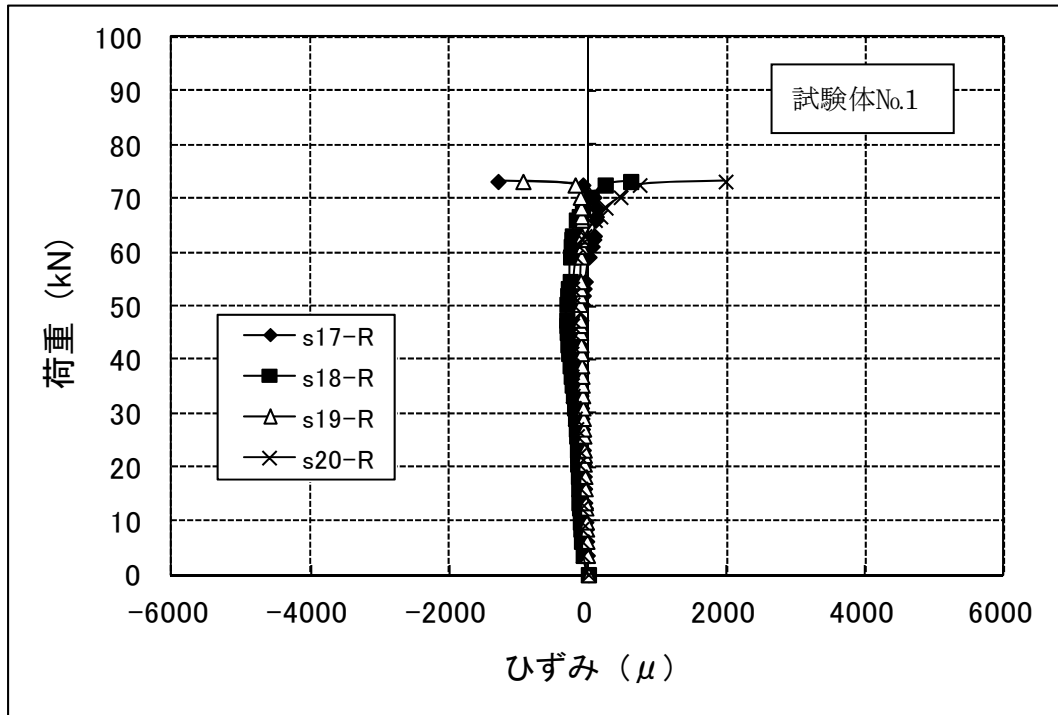


図 38 空ドラム缶 H 級のチャイム部淵周の円周方向のひずみ

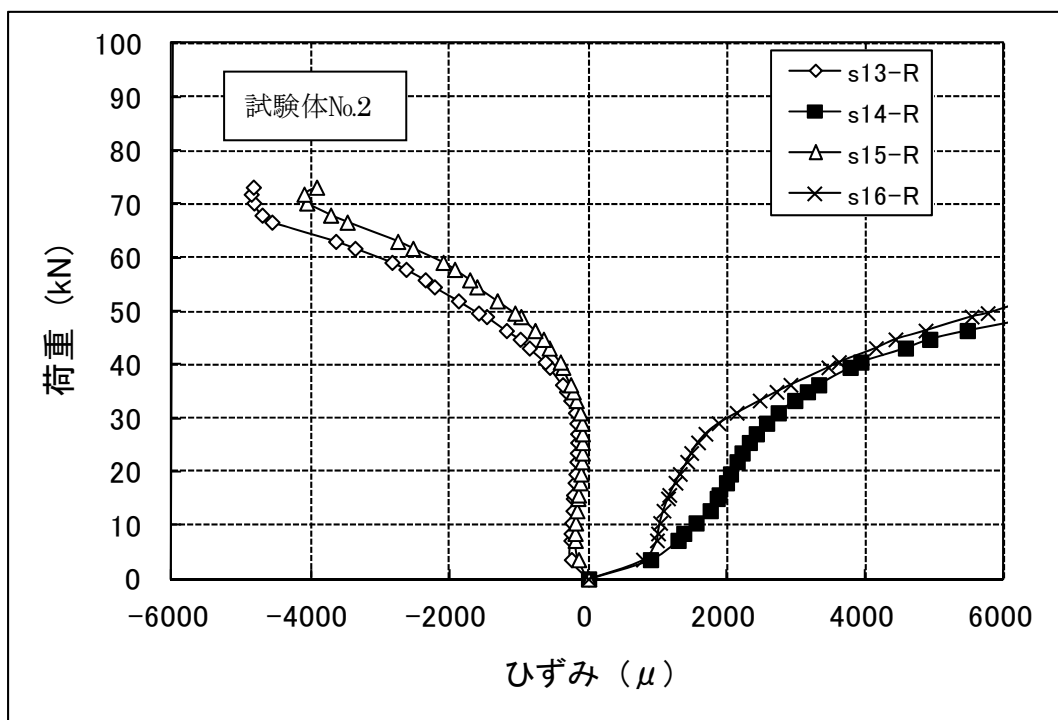
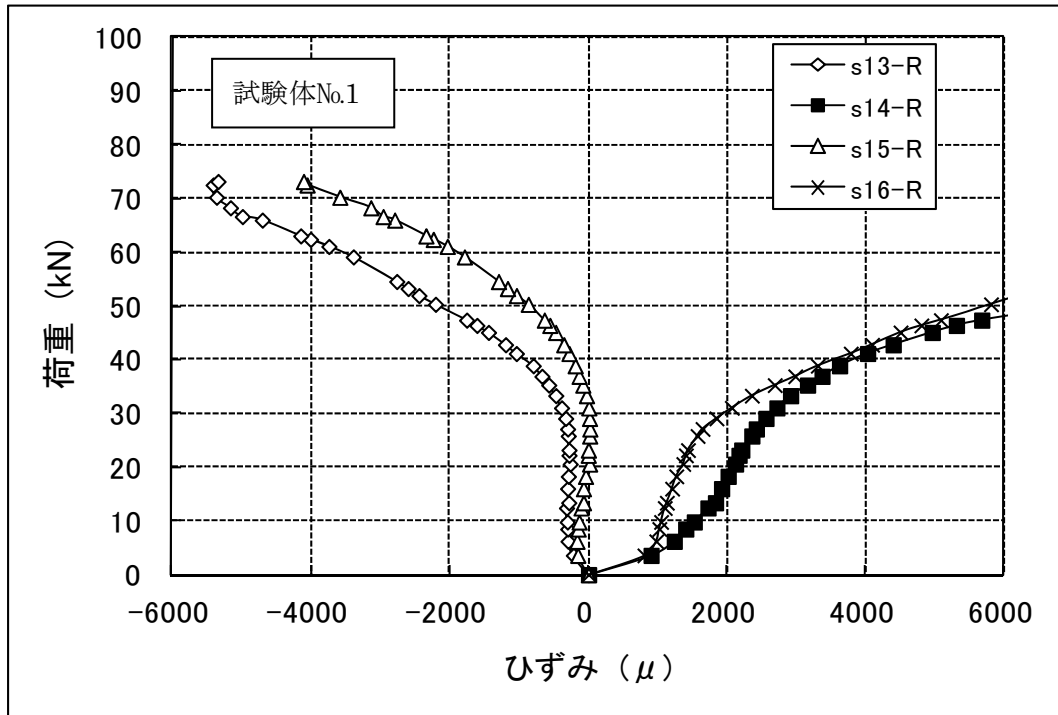


図 39 空ドラム缶 H 級の第一輪帯の円周方向のひずみ

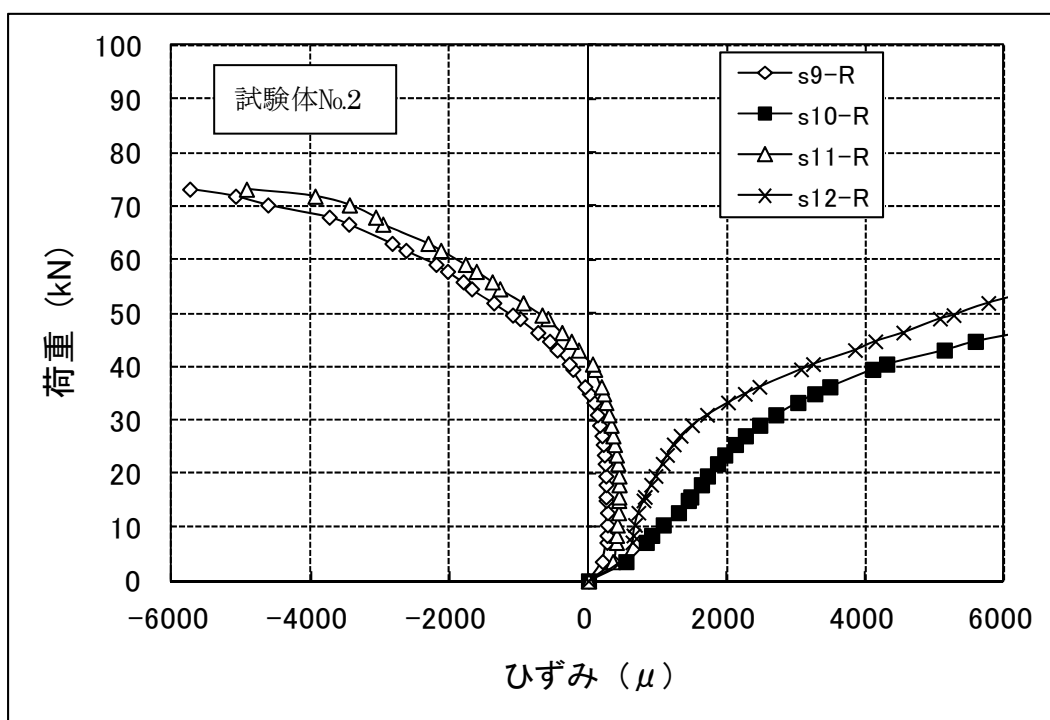
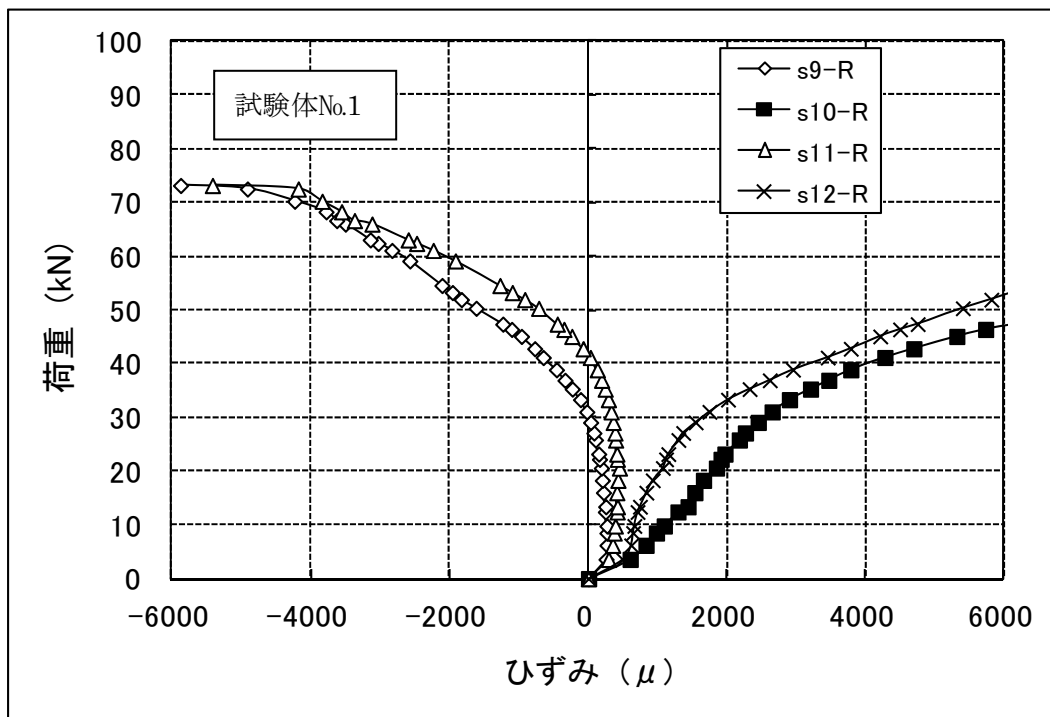


図 40 空ドラム缶 H 級の第二輪帯の円周方向のひずみ

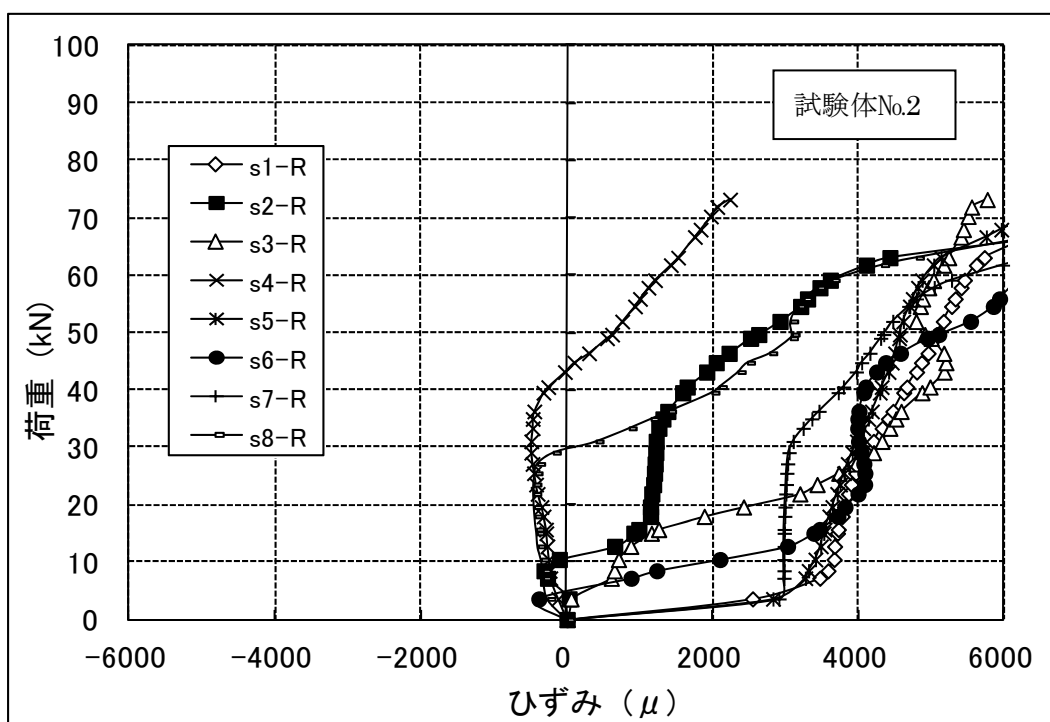
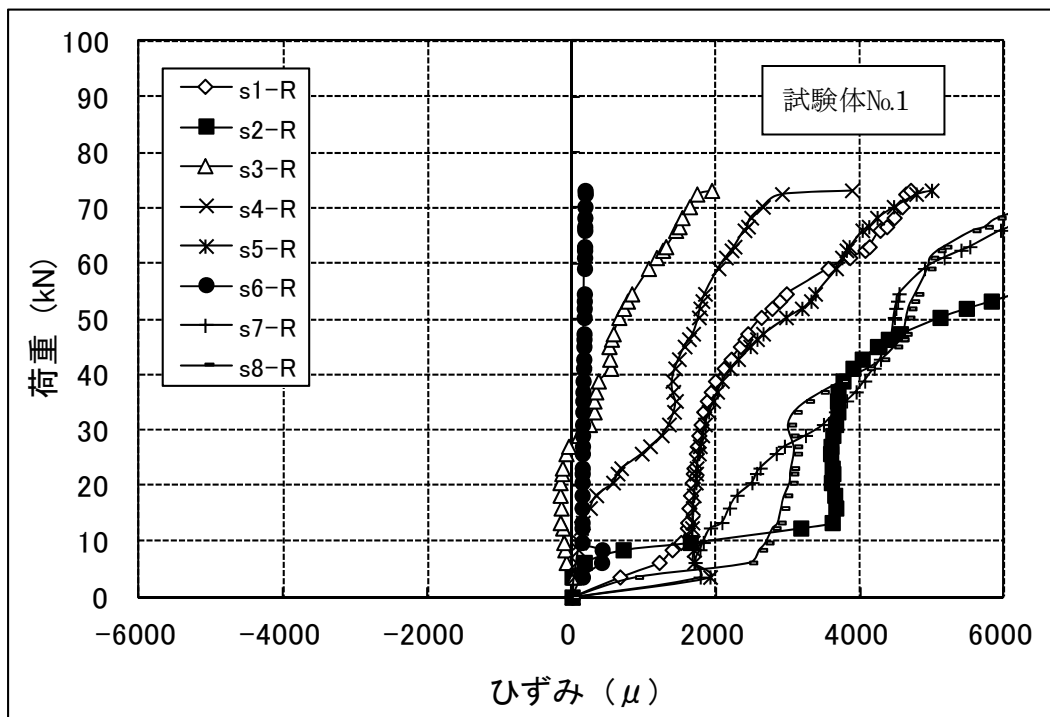


図 41 空ドラム缶 H 級の治具接触点における円周方向のひずみ

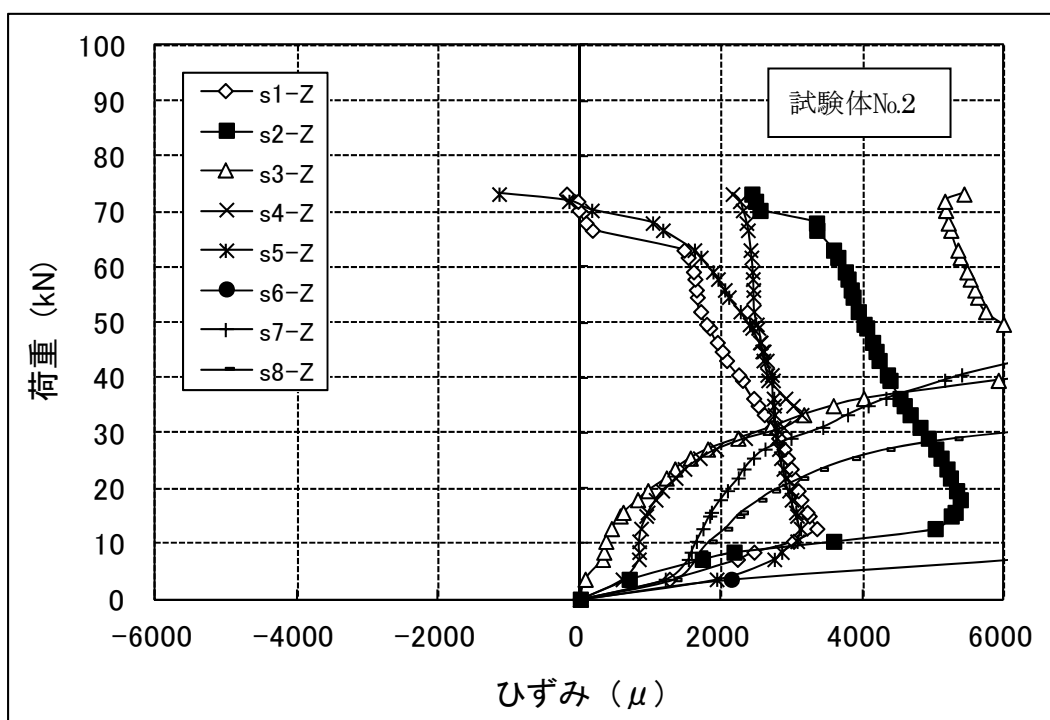
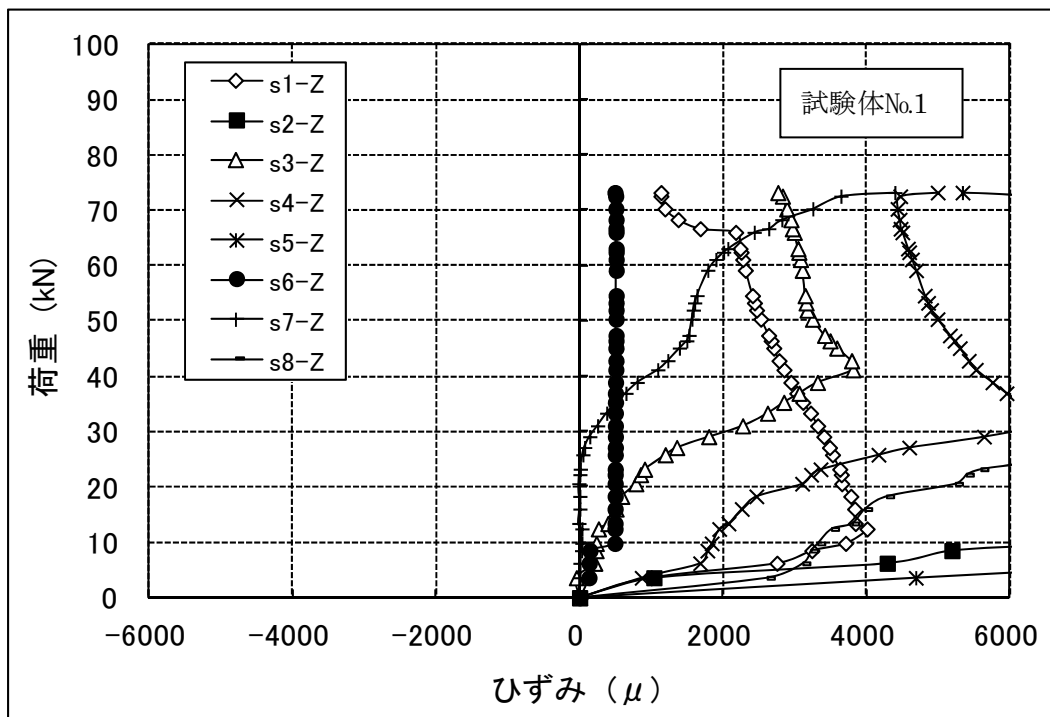


図 42 空ドラム缶 H 級の治具接触点における軸方向のひずみ

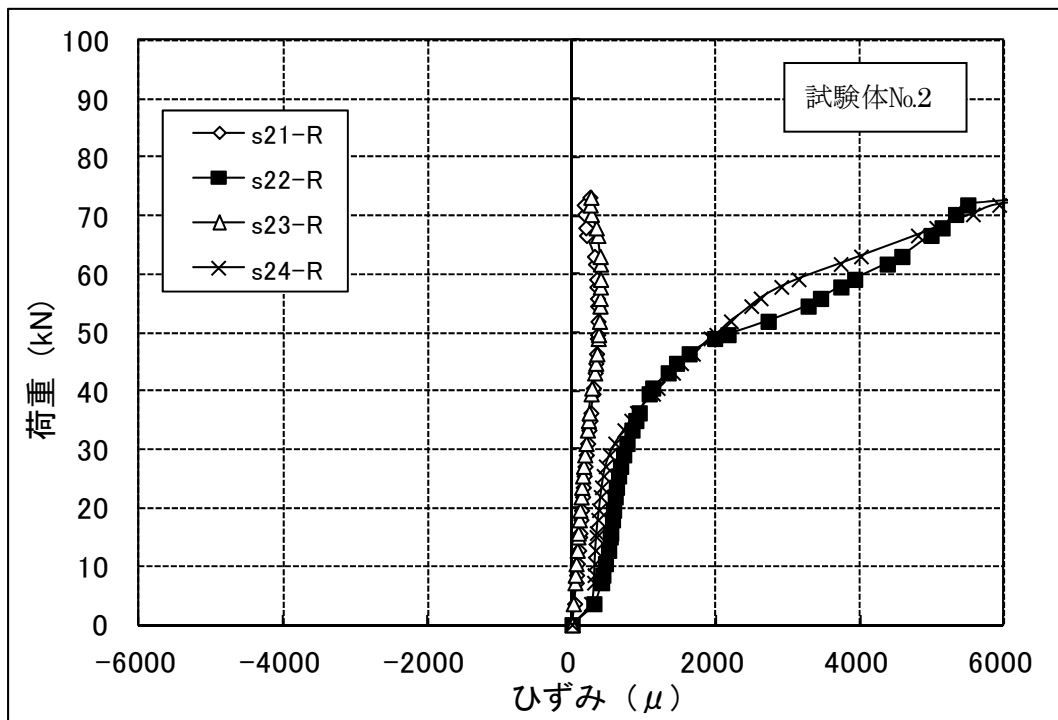
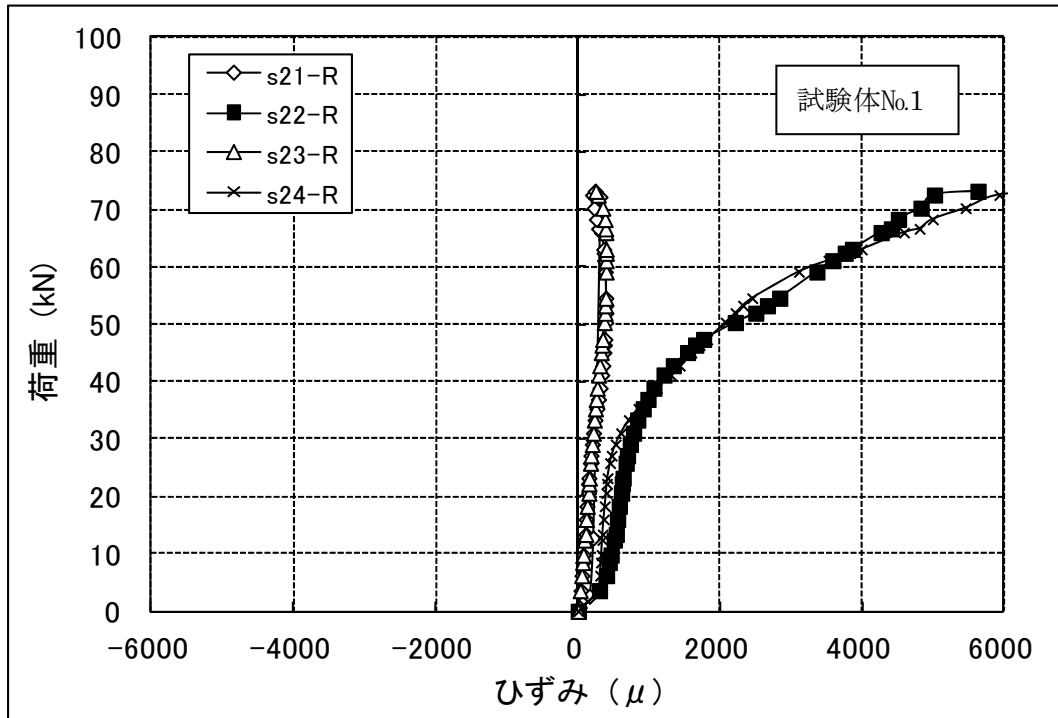


図 43 空ドラム缶 H 級の治具接触点におけるドラム缶側面の円周向のひずみ

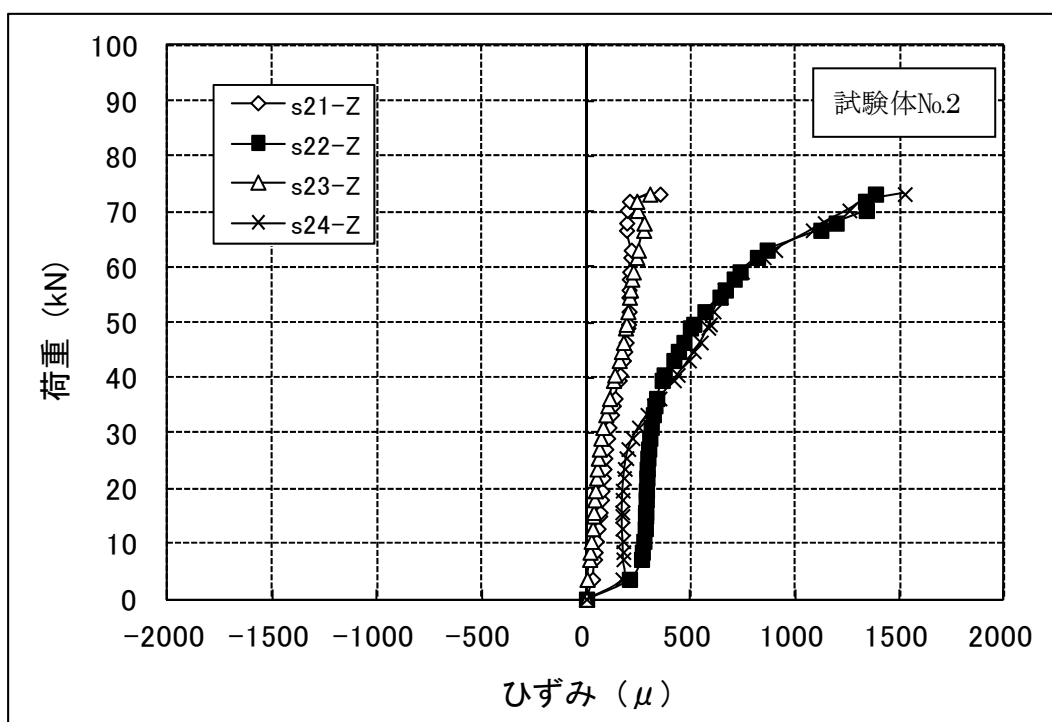
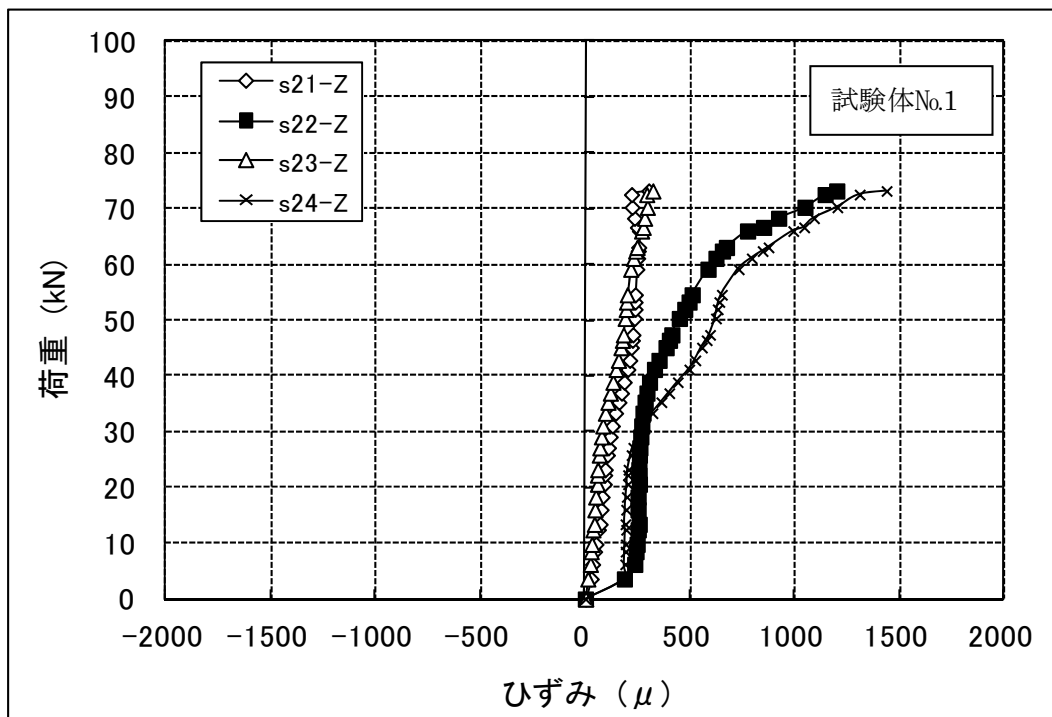


図 44 空ドラム缶 H 級の治具接触点におけるドラム缶側面の軸周向のひずみ

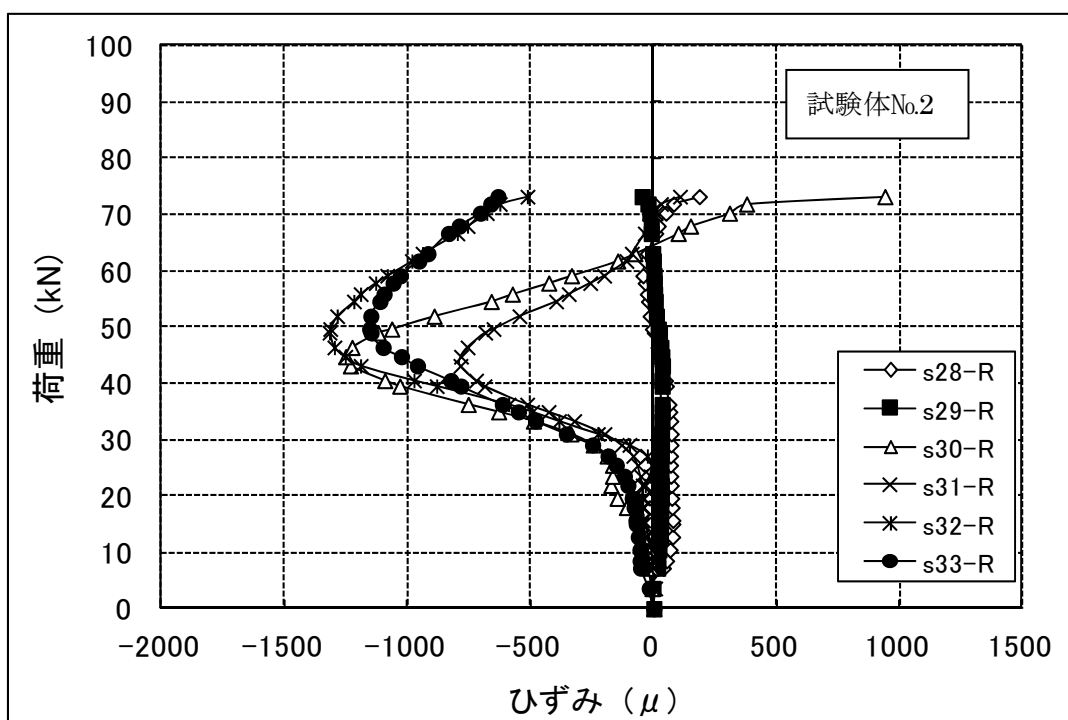
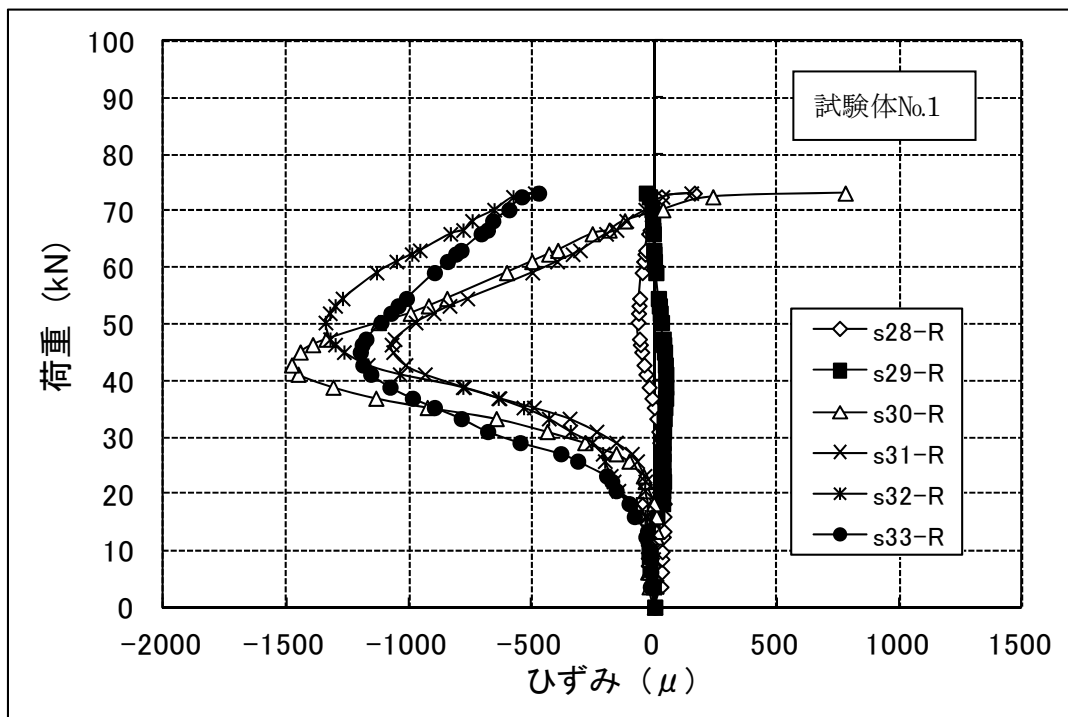


図 45 空ドラム缶 H 級の蓋付近における円周方向のひずみ

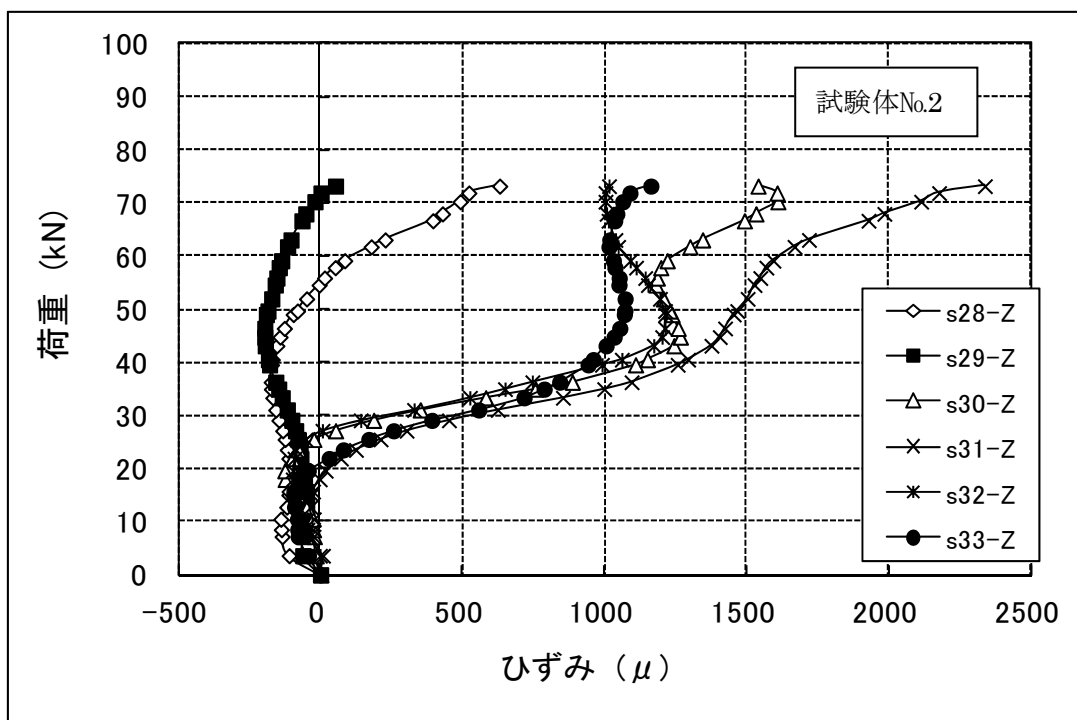
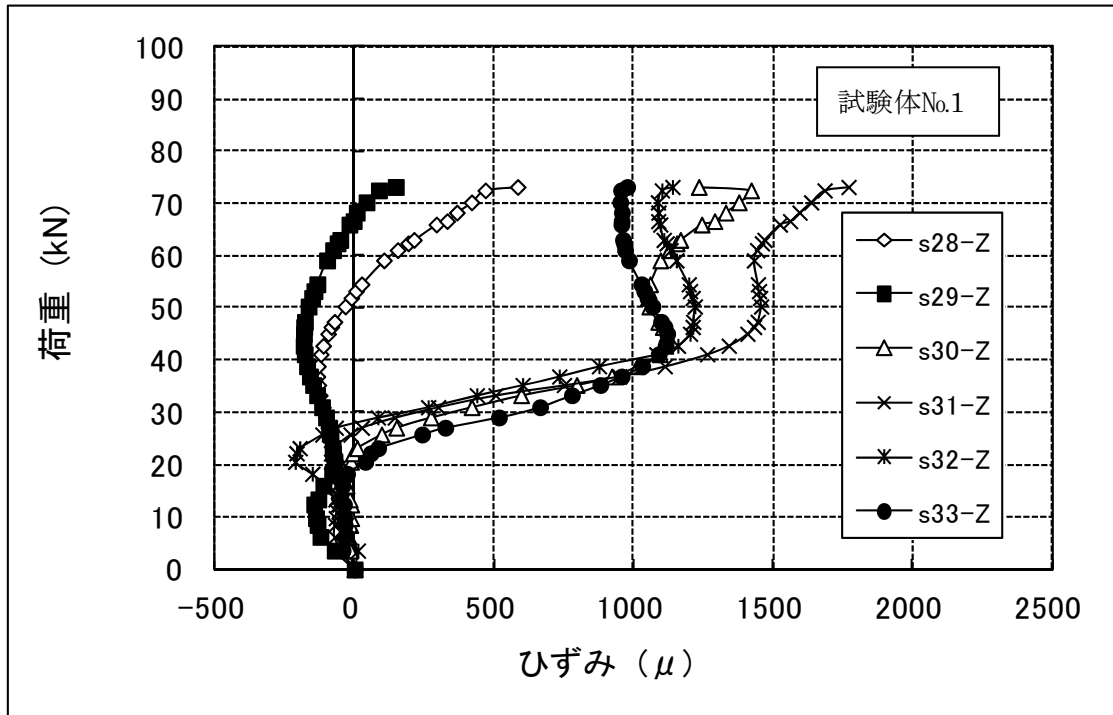


図 46 空ドラム缶 H 級の蓋付近における軸方向のひずみ

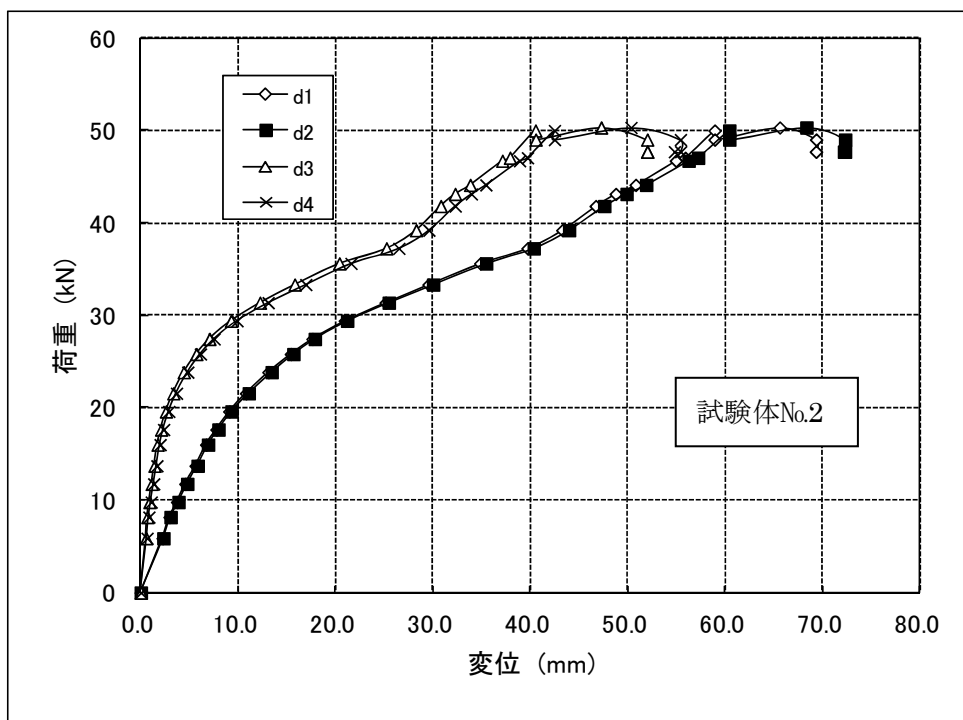
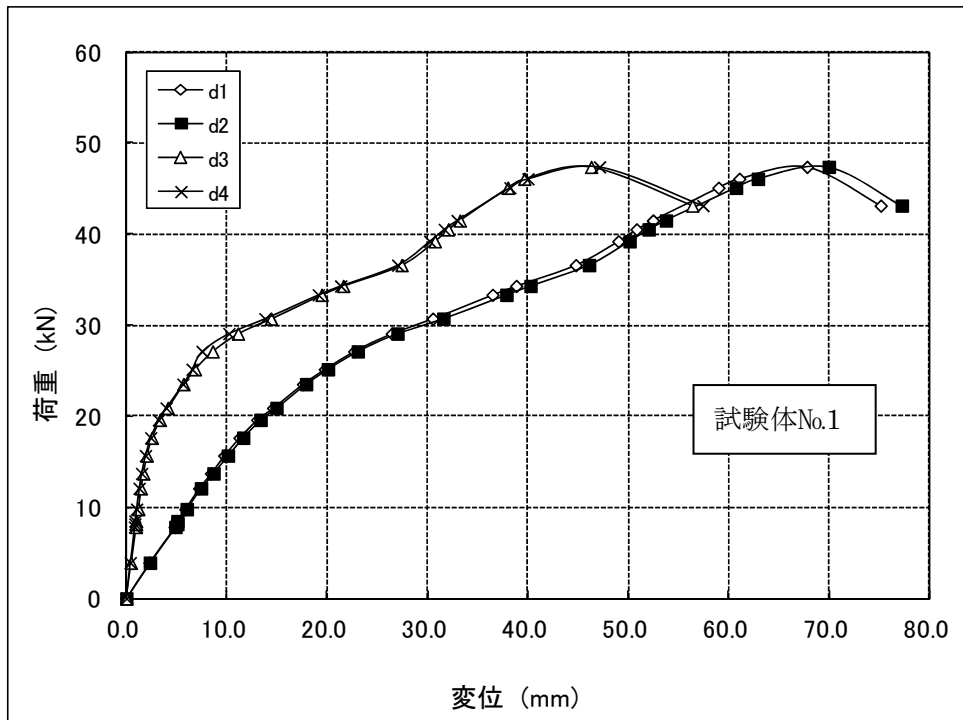


図 47 空ドラム缶 M 級の鉛直変位

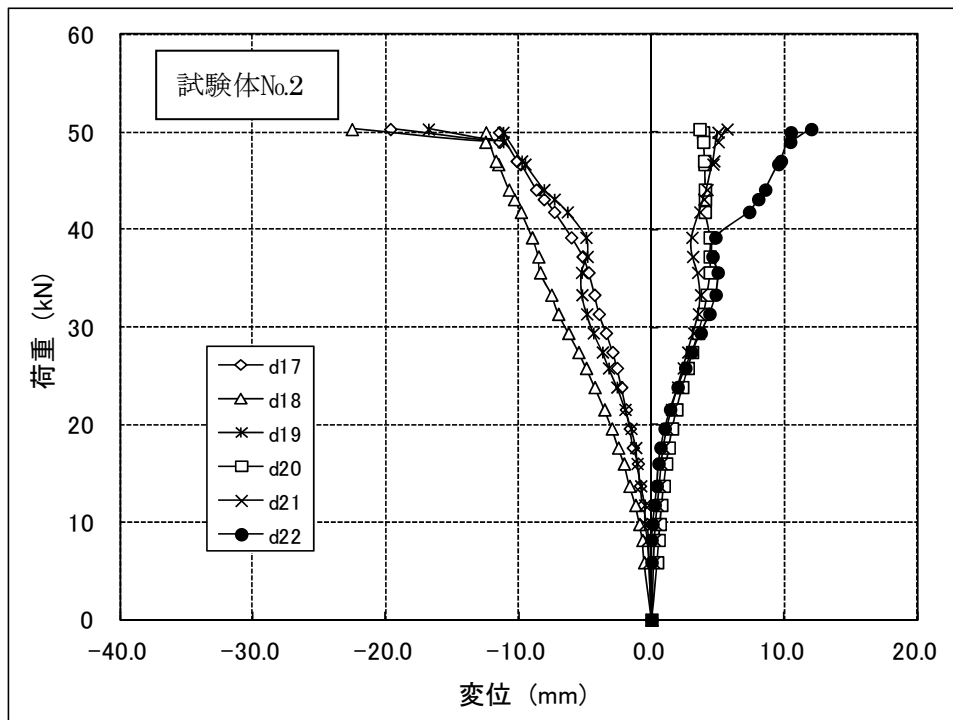
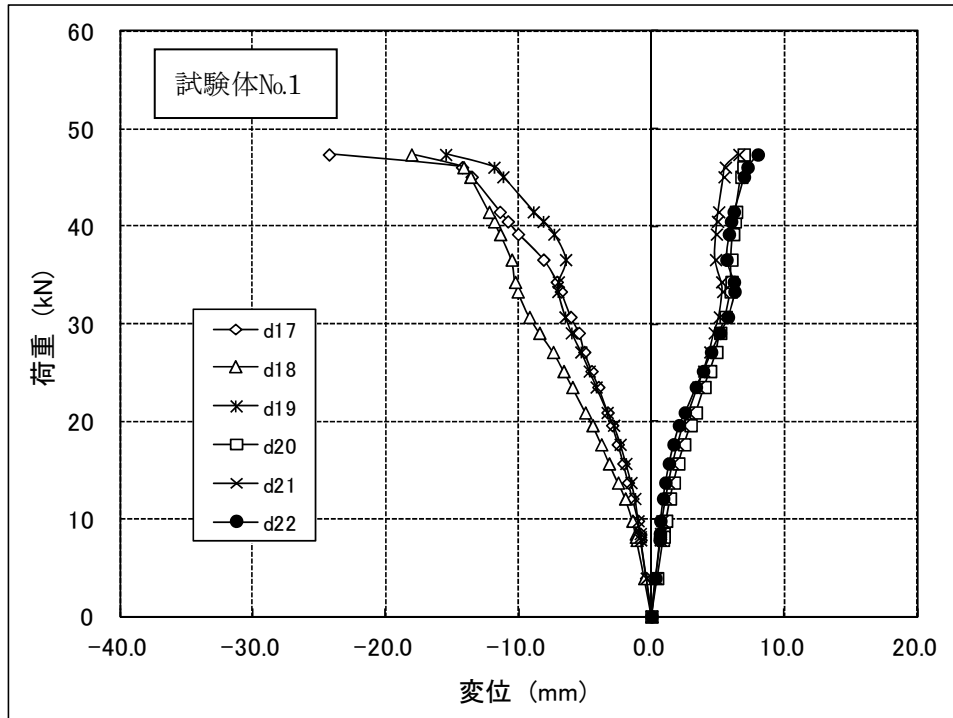


図 48 空ドラム缶 M 級のチャイム(17, 18, 19)及び蓋(20,21,22)鉛直変位

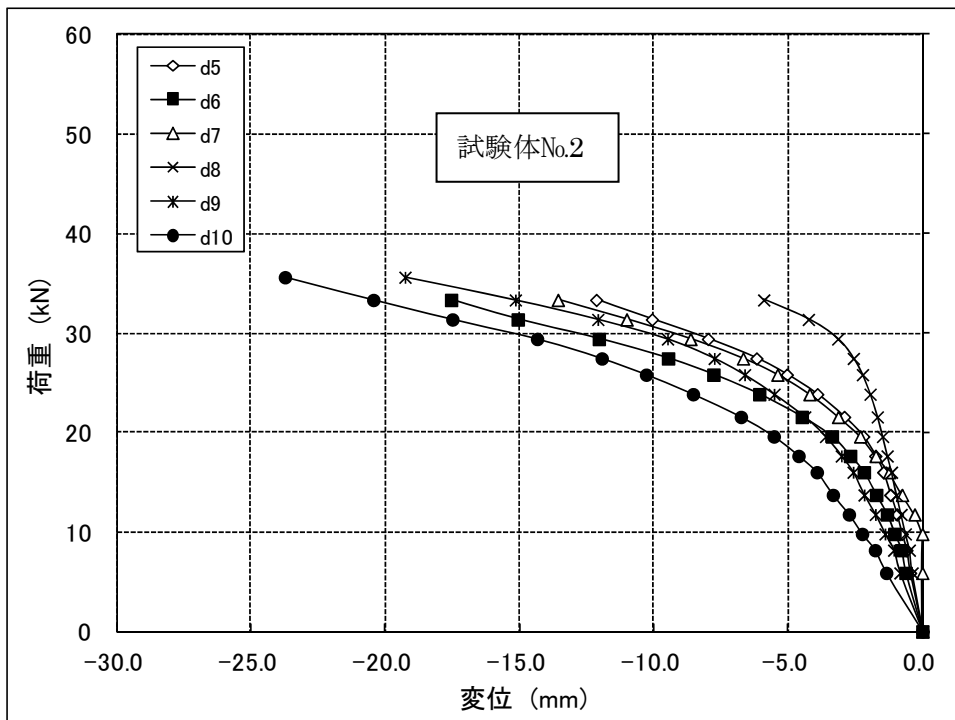
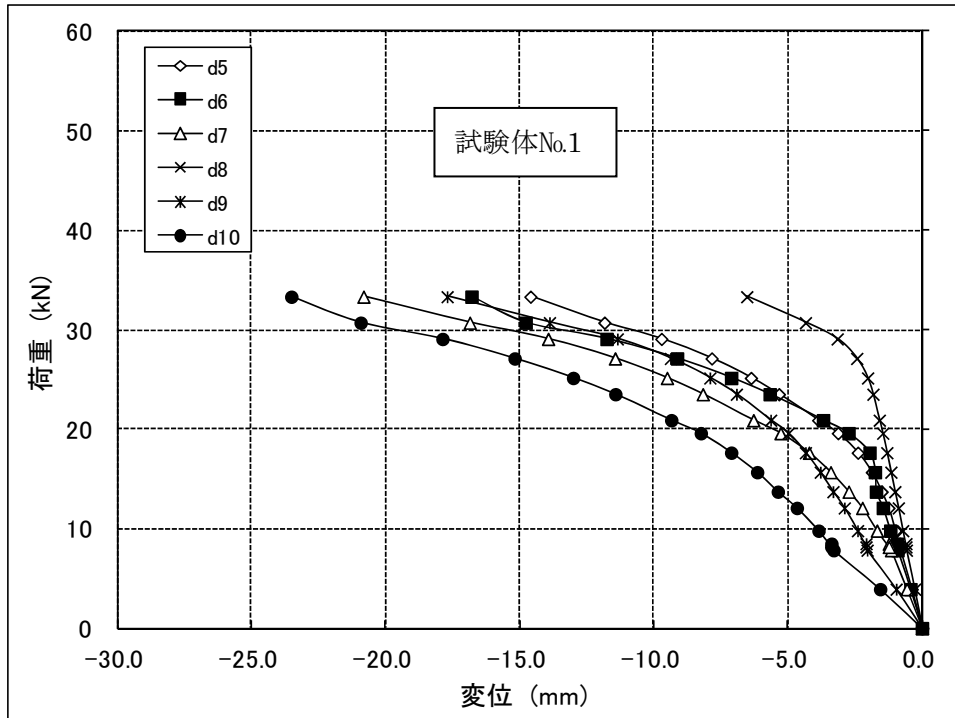


図 49 空ドラム缶 M 級のチャイム部淵周(5, 8)及び輪帯(6,7,9,10)の上下部の変位

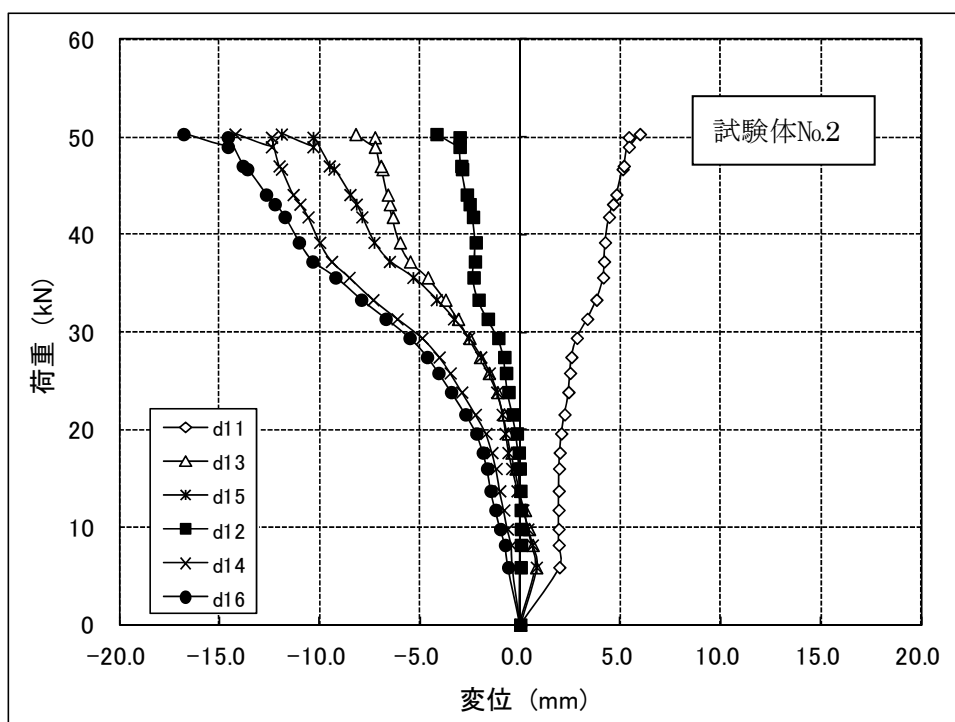
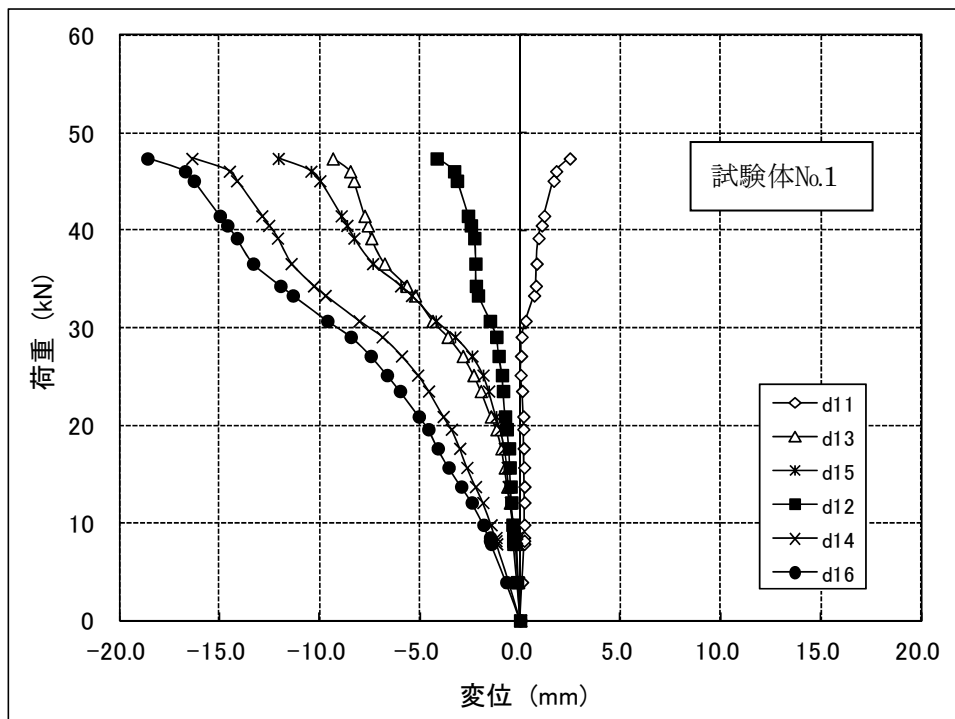


図 50 空ドラム缶 M 級のチャイム部淵周(11, 12)及び輪帯(13,14,15,16)の側部の変位

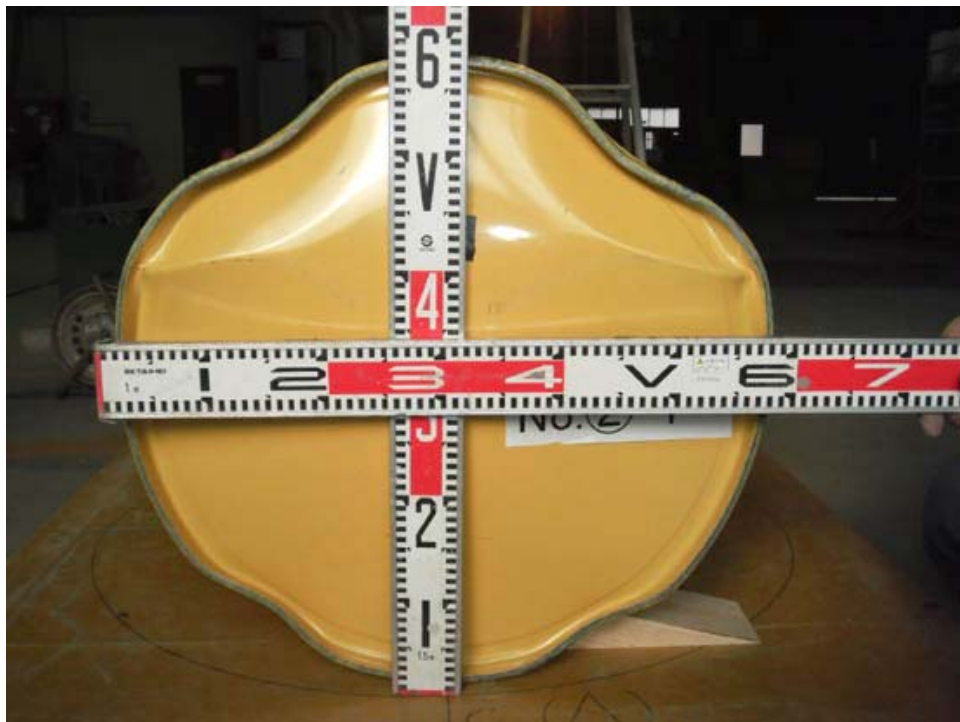


図 51 空ドラム缶 M 級(試験体No.1)の裁荷後の変形の状況(1/2)

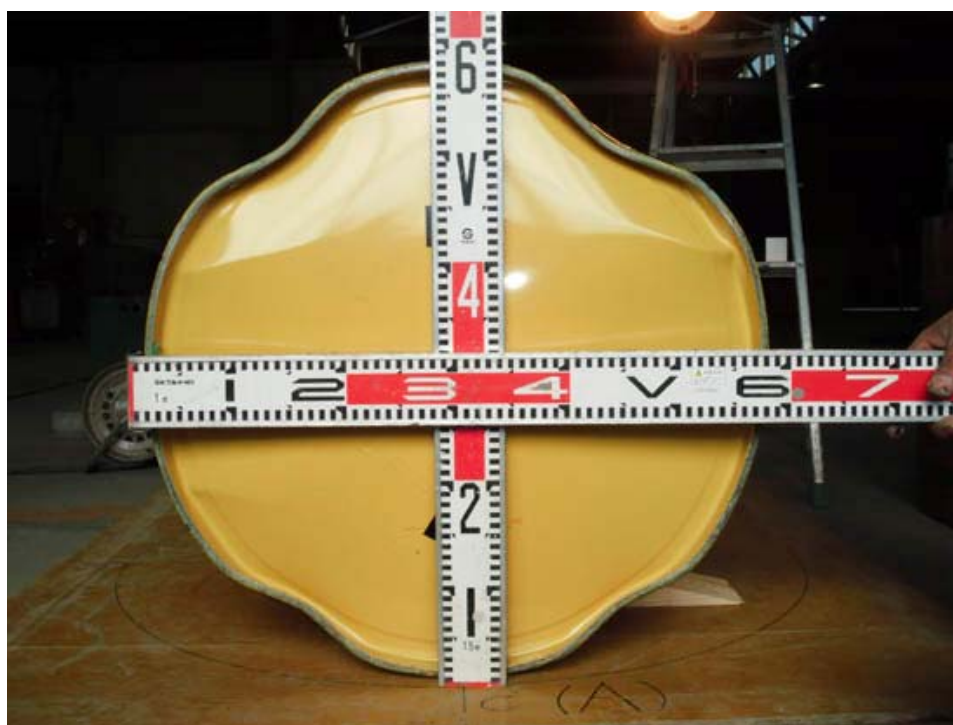


図 51 空ドラム缶 M 級(試験体No.2)の裁荷後の変形の状況(2/2)

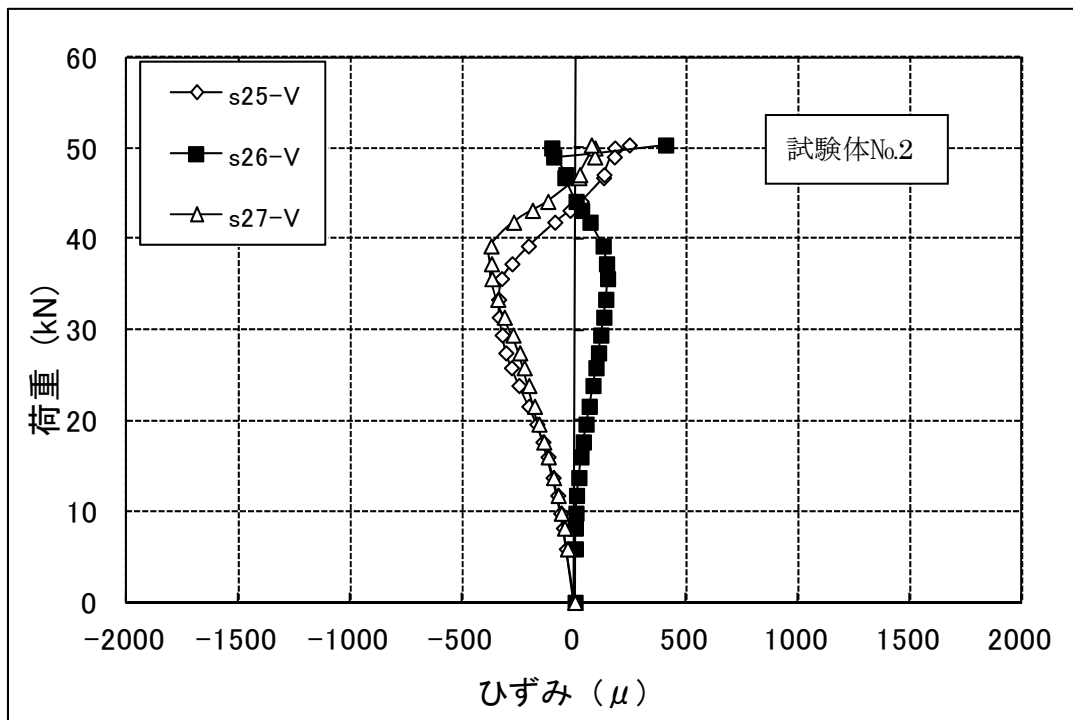
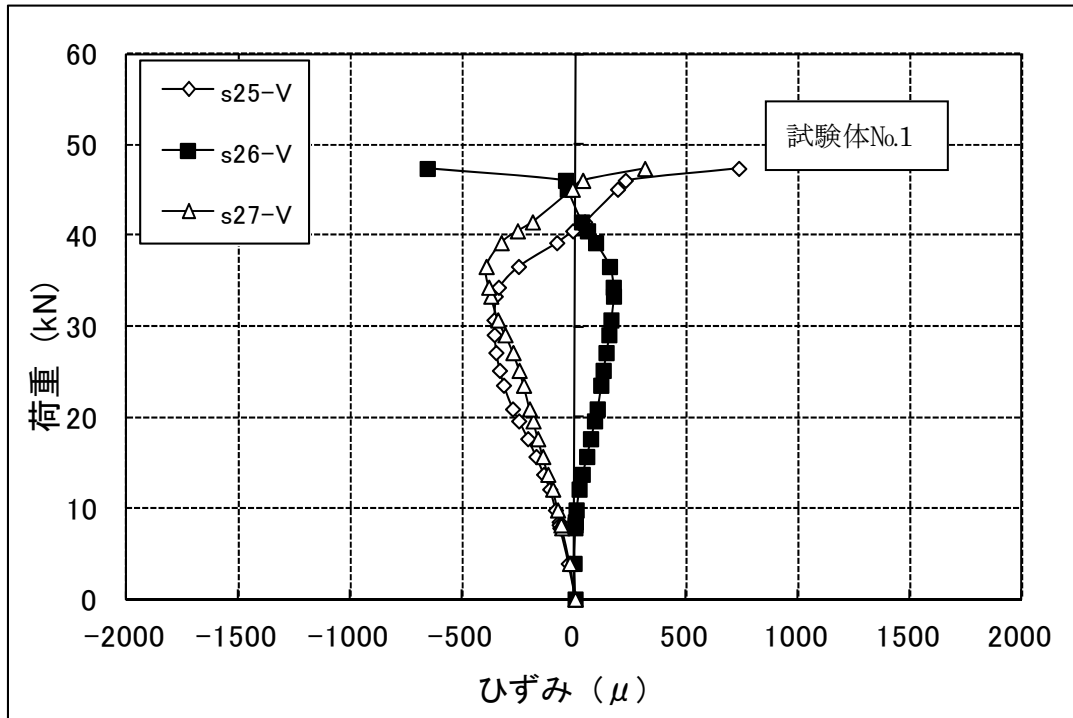


図 52 空ドラム缶 M 級のチャイムの鉛直方向ひずみ

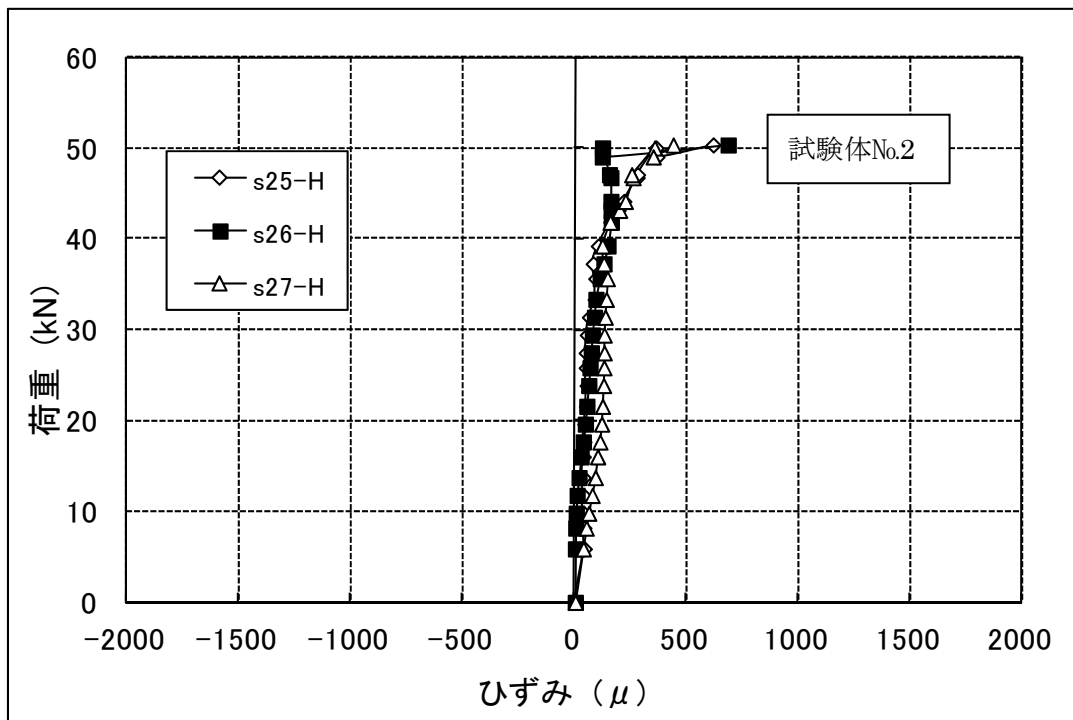
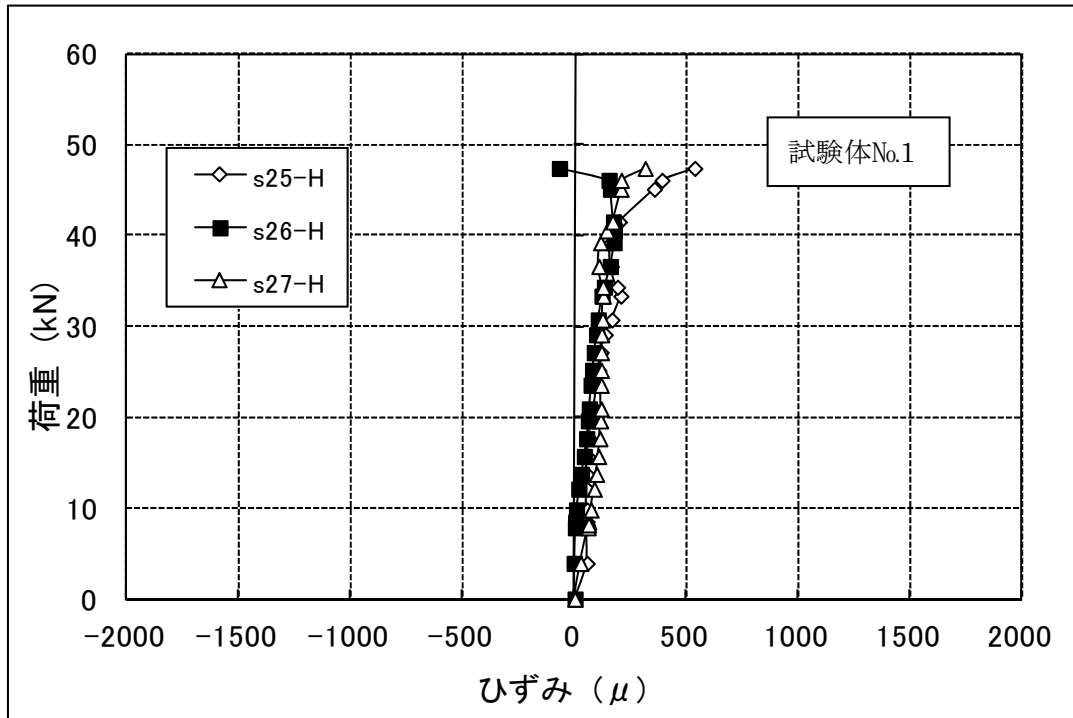


図 53 空ドラム缶 M 級のチャイムの水平方向ひずみ

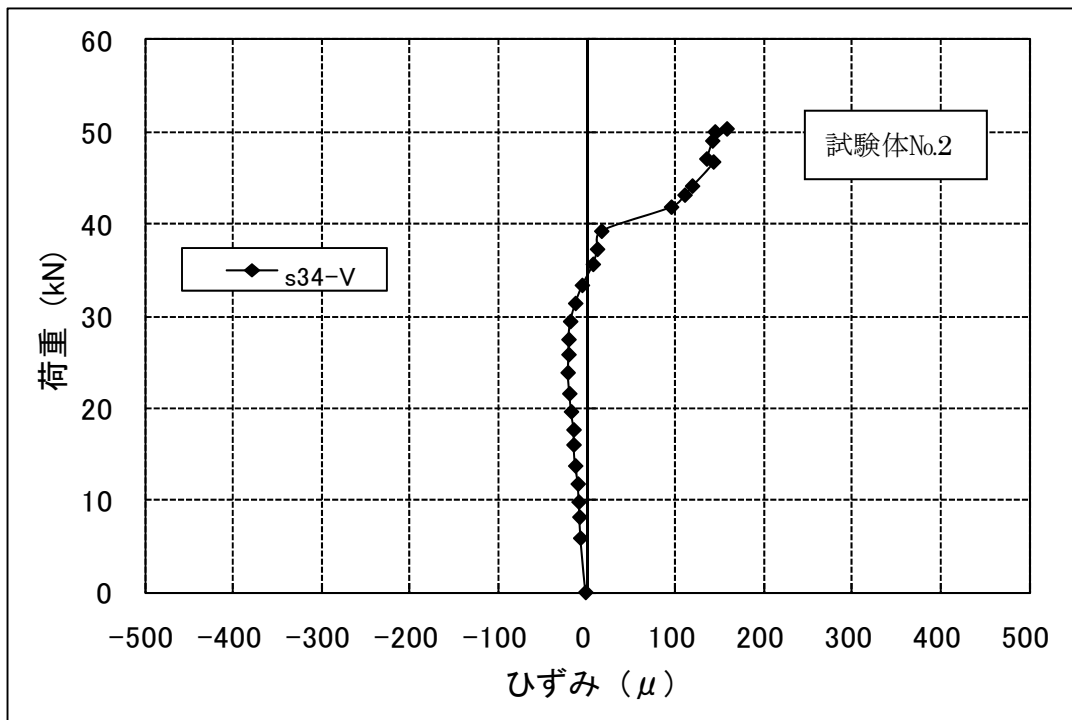
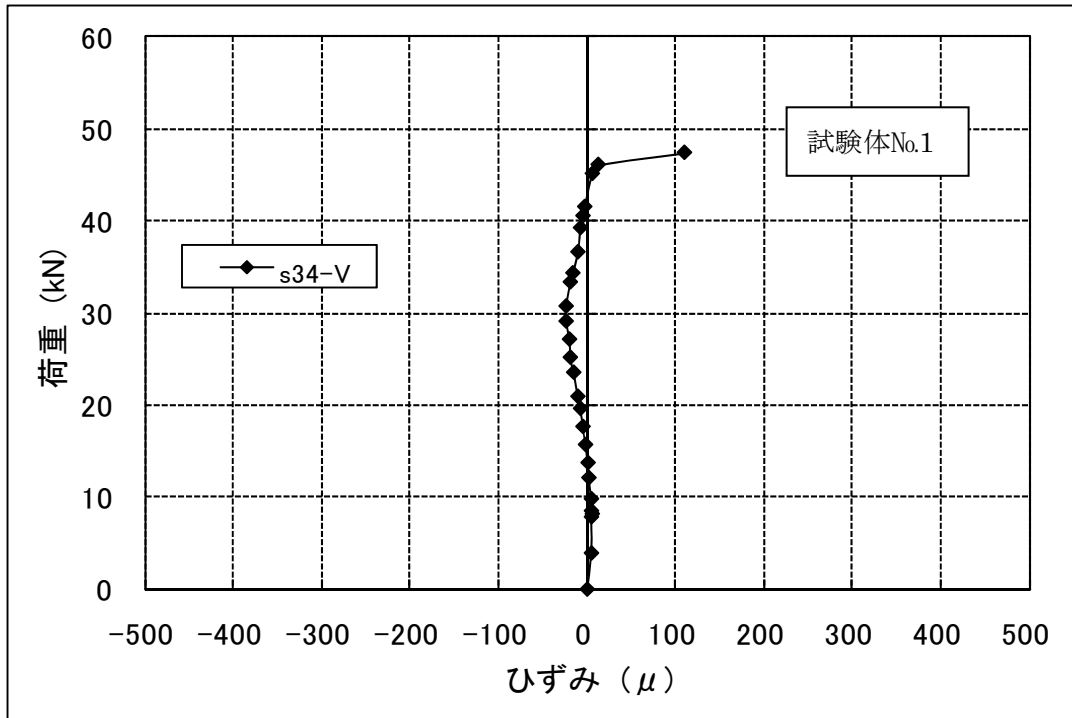


図 54 空ドラム缶 M 級の蓋の鉛直方向ひずみ

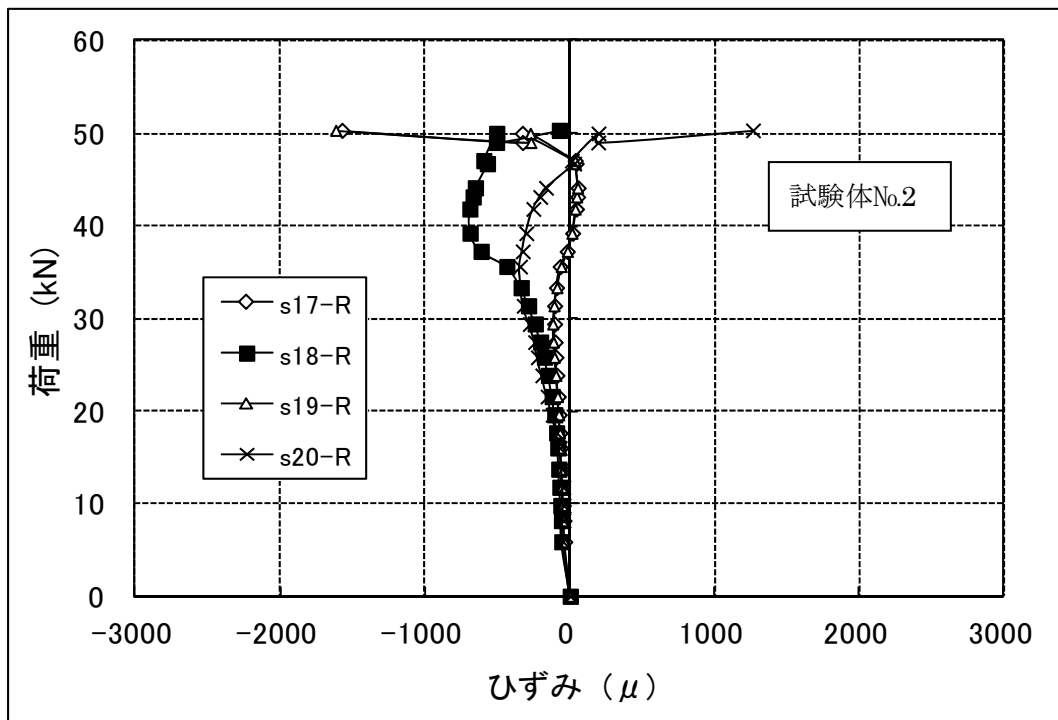
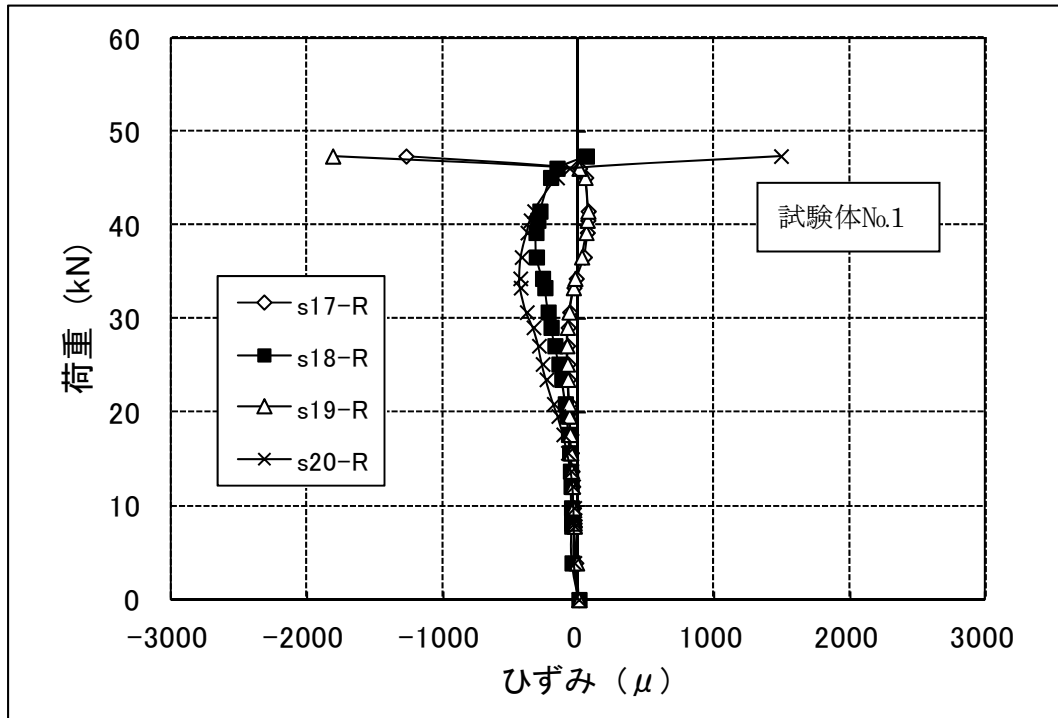


図 55 空ドラム缶 M 級のチャイム部淵周の円周方向のひずみ

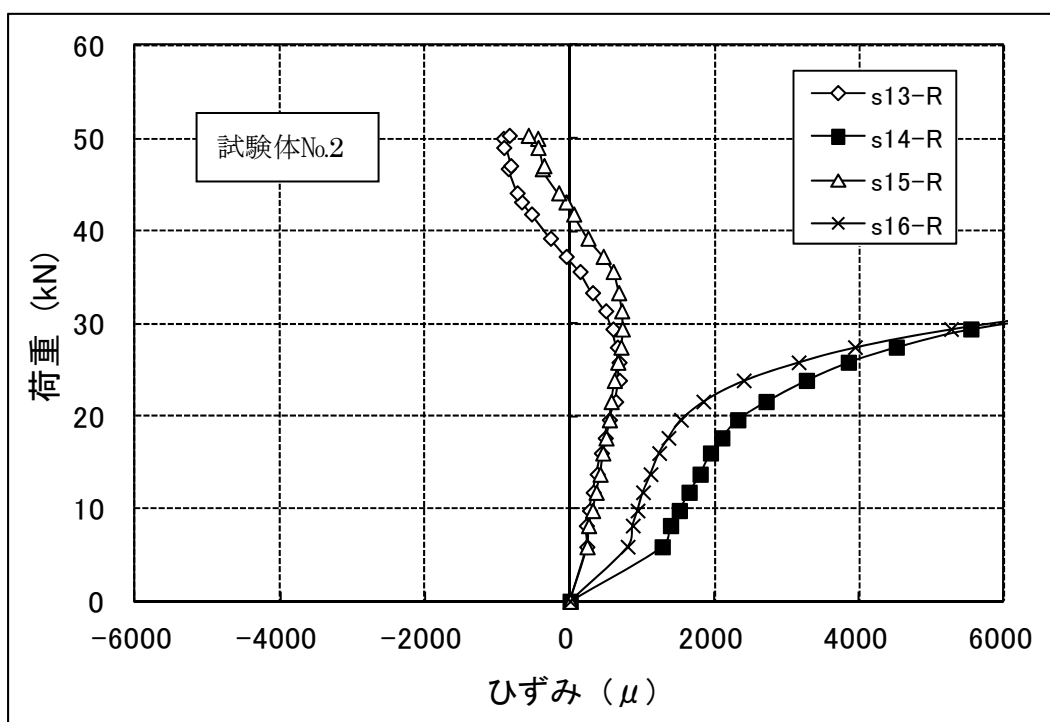
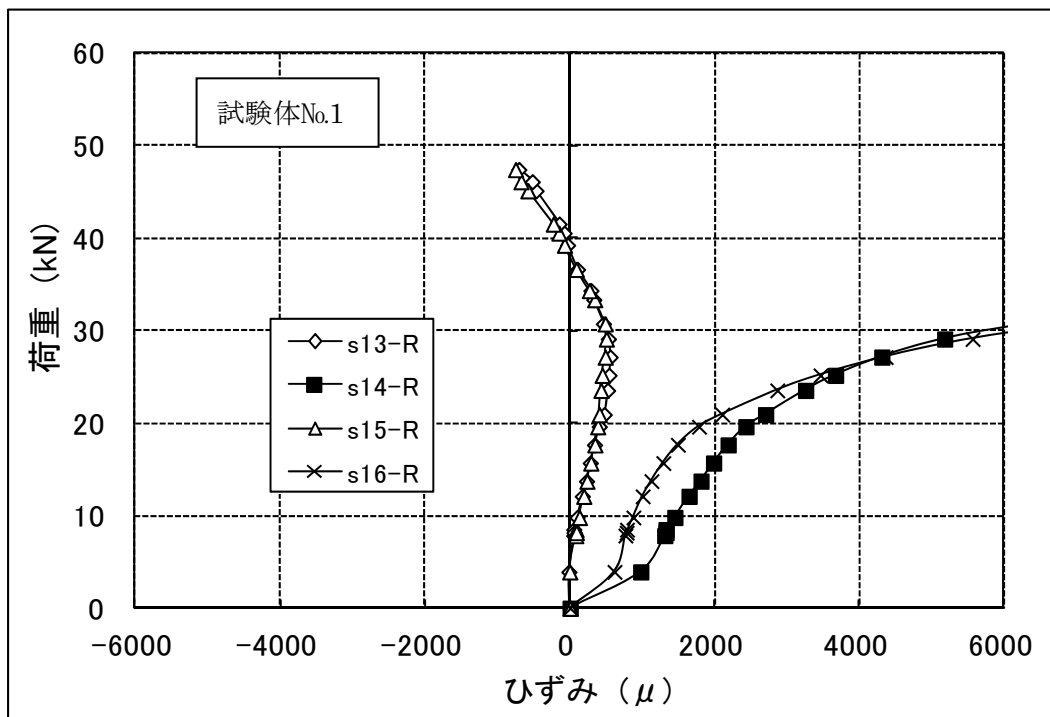


図 56 空ドラム缶 M 級の第一輪帯の円周方向のひずみ

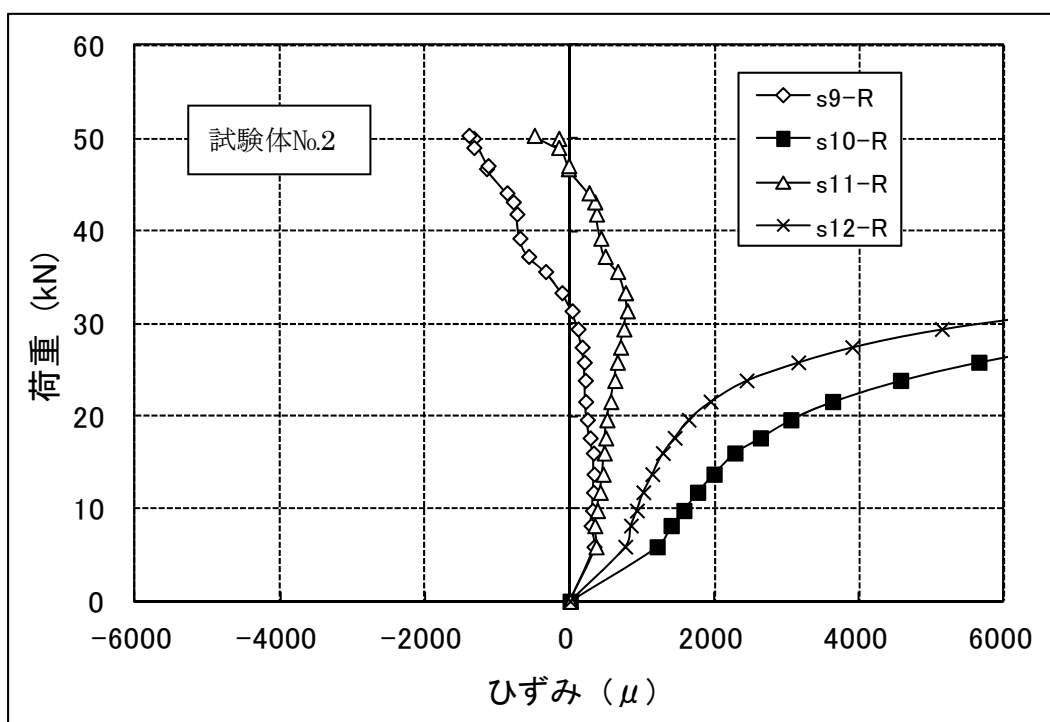
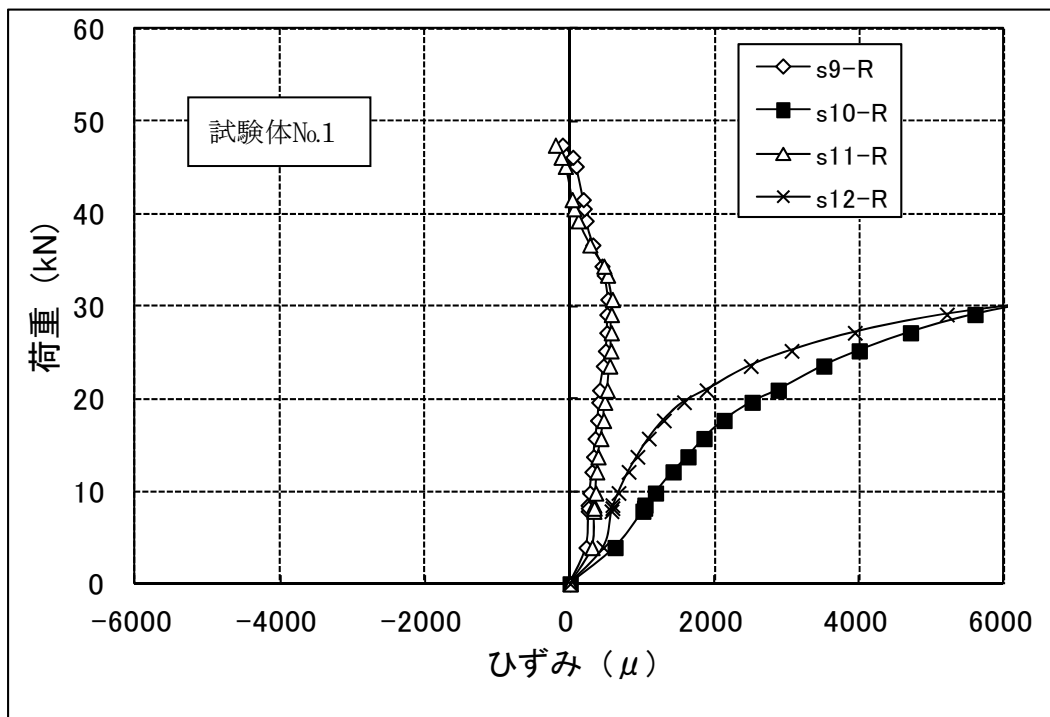


図 57 空ドラム缶 M 級の第二輪帯の円周方向のひずみ

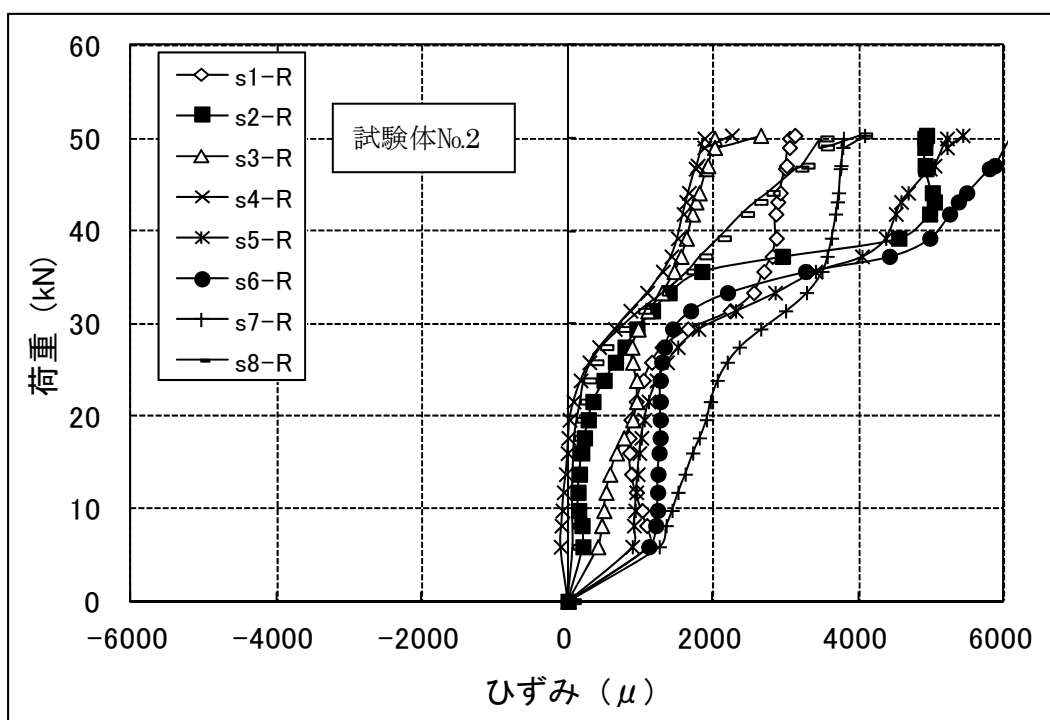
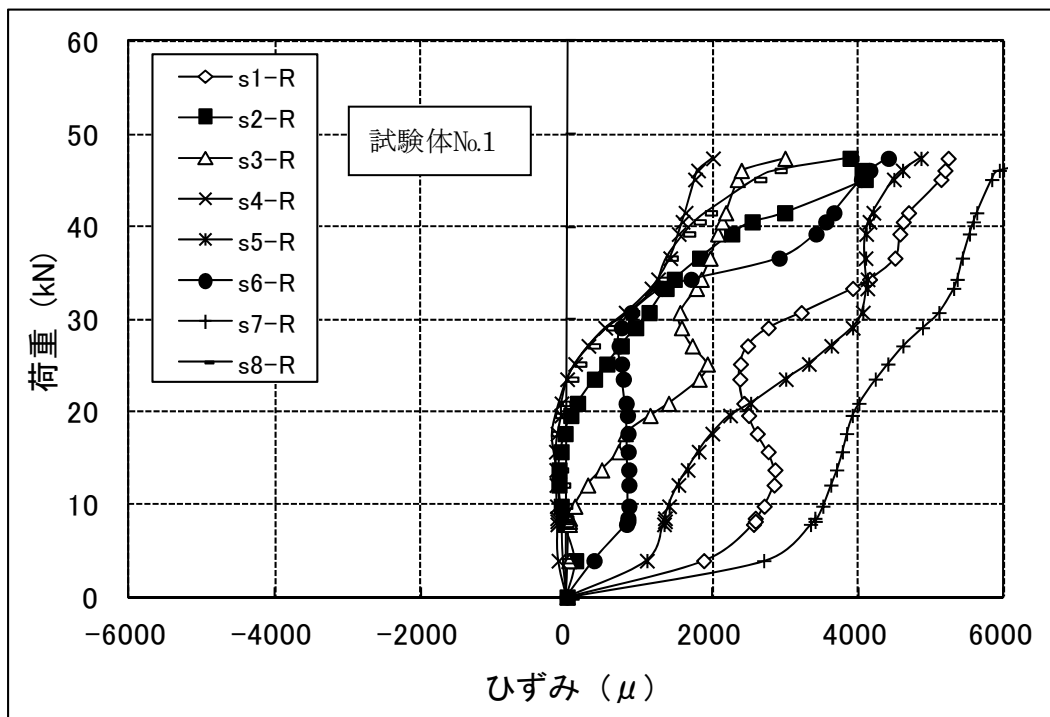


図 58 空ドラム缶 M 級の治具接触点における円周方向のひずみ

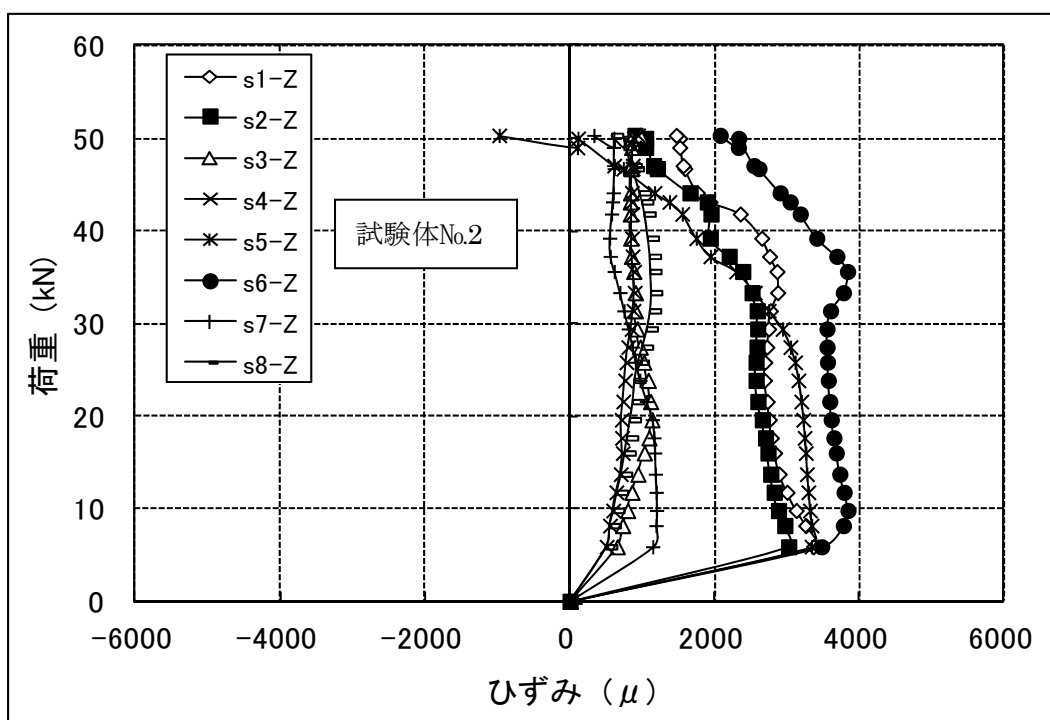
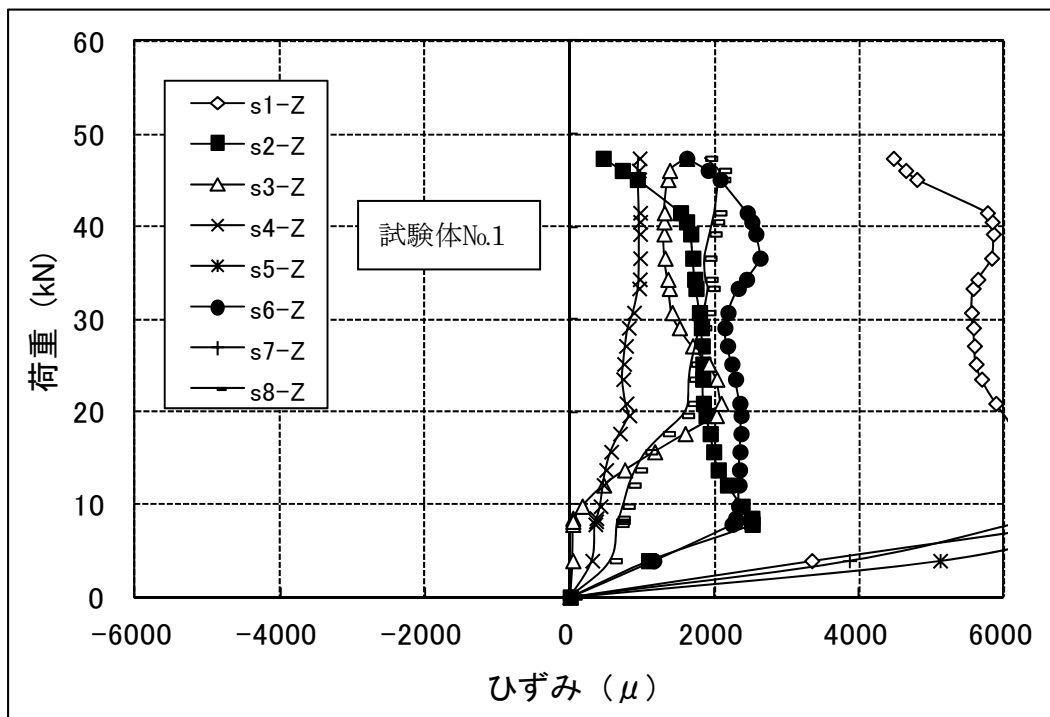


図 59 空ドラム缶 M 級の治具接触点における軸方向のひずみ

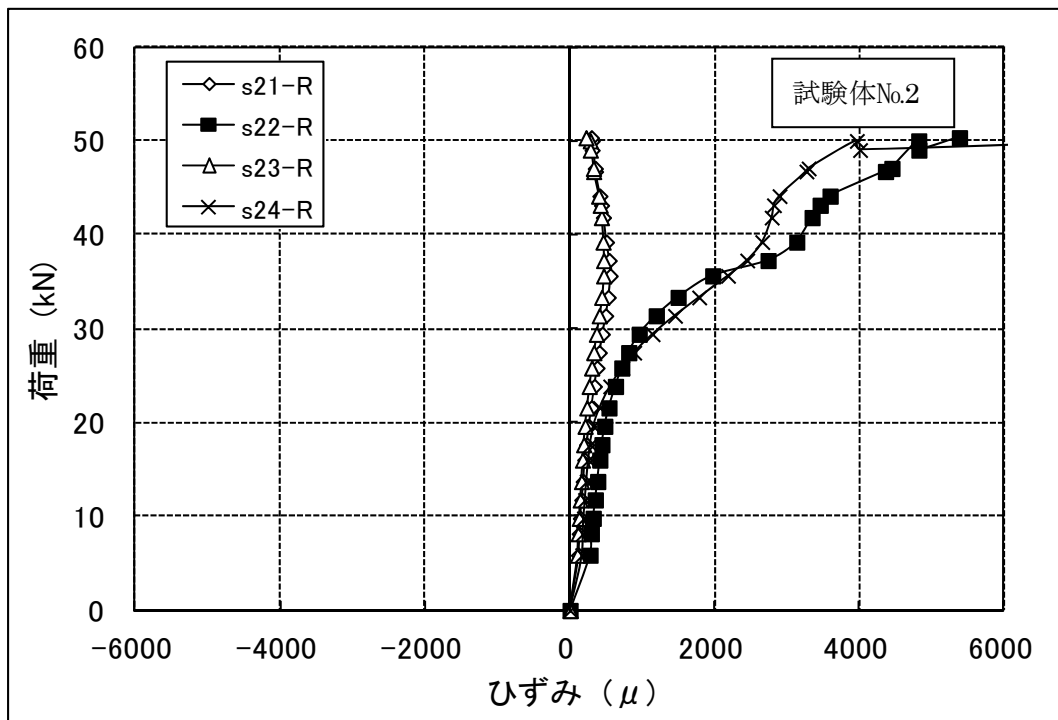
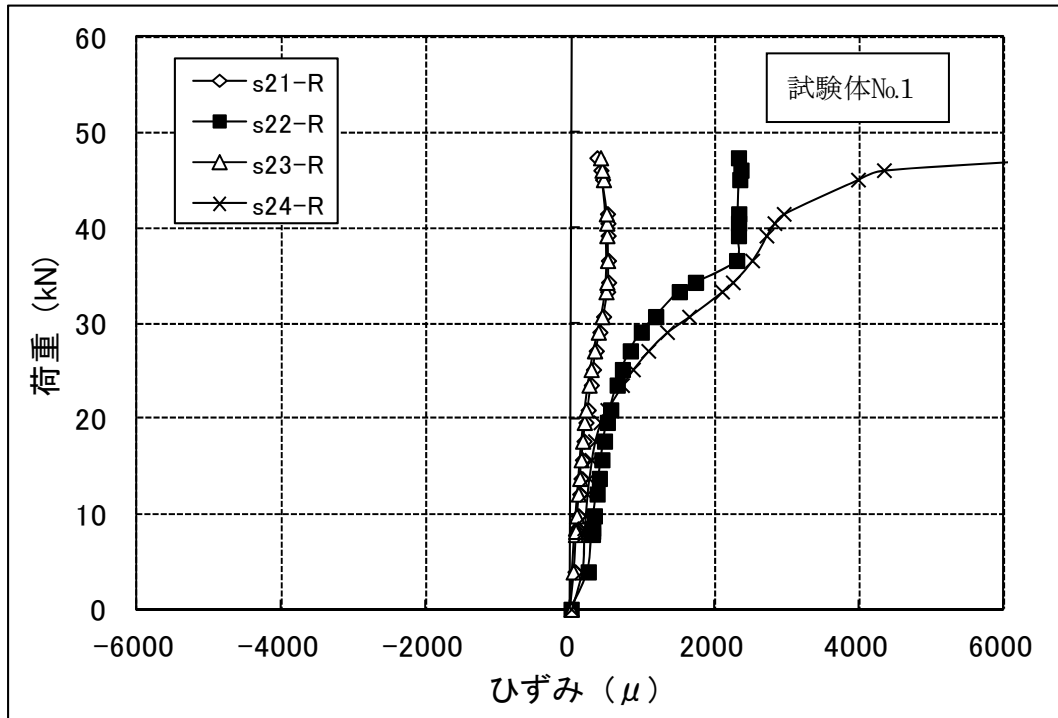


図 60 空ドラム缶 M 級の治具接触点におけるドラム缶側面の円周方向のひずみ

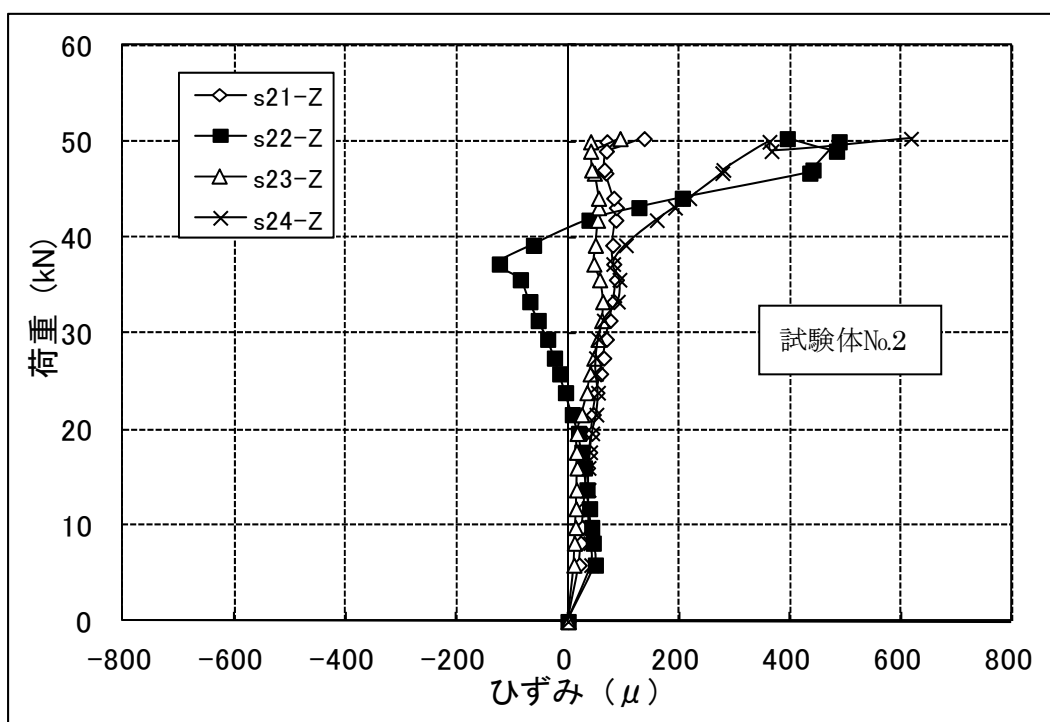
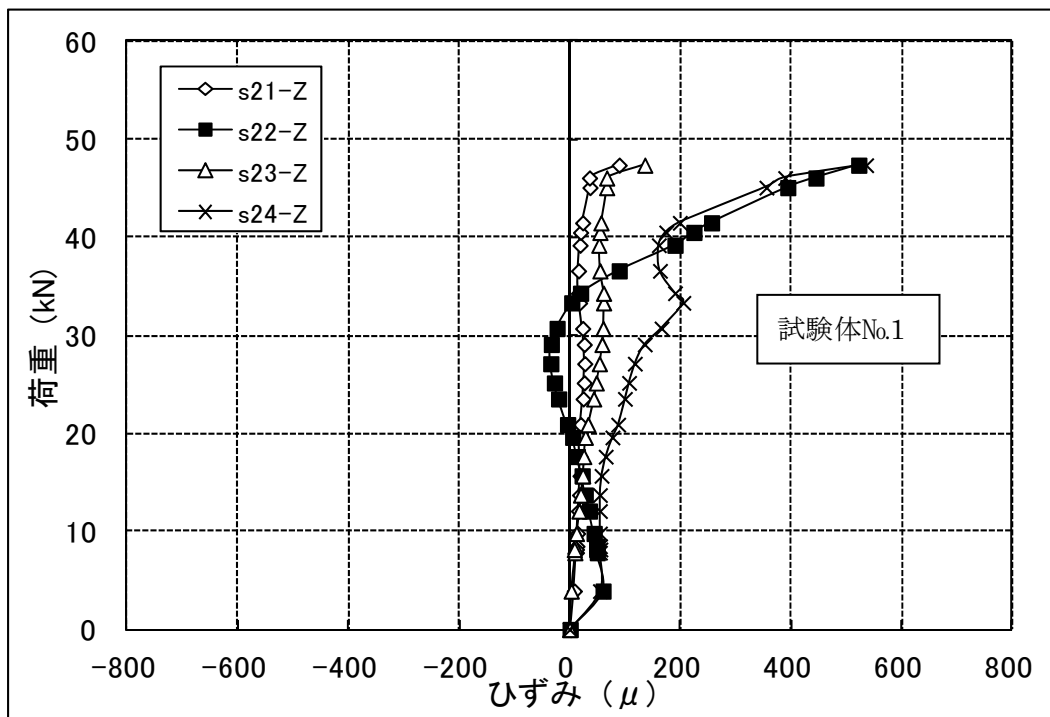


図 61 空ドラム缶 M 級の治具接触点におけるドラム缶側面の軸方向のひずみ

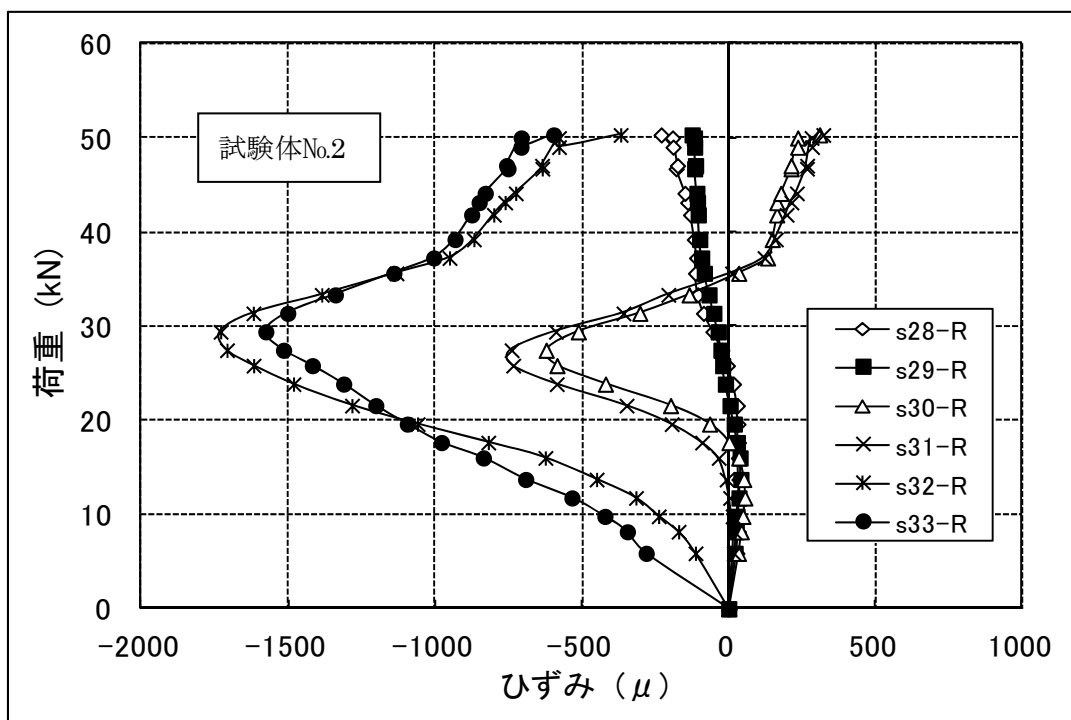
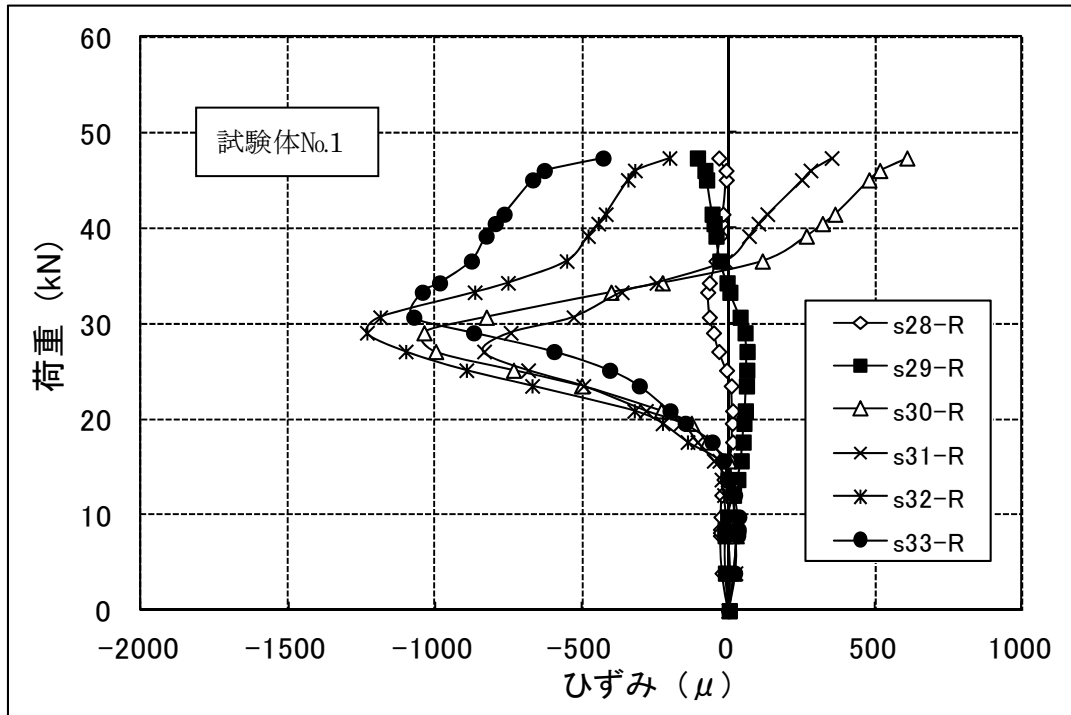


図 62 空ドラム缶 M 級の蓋付近における円周方向のひずみ

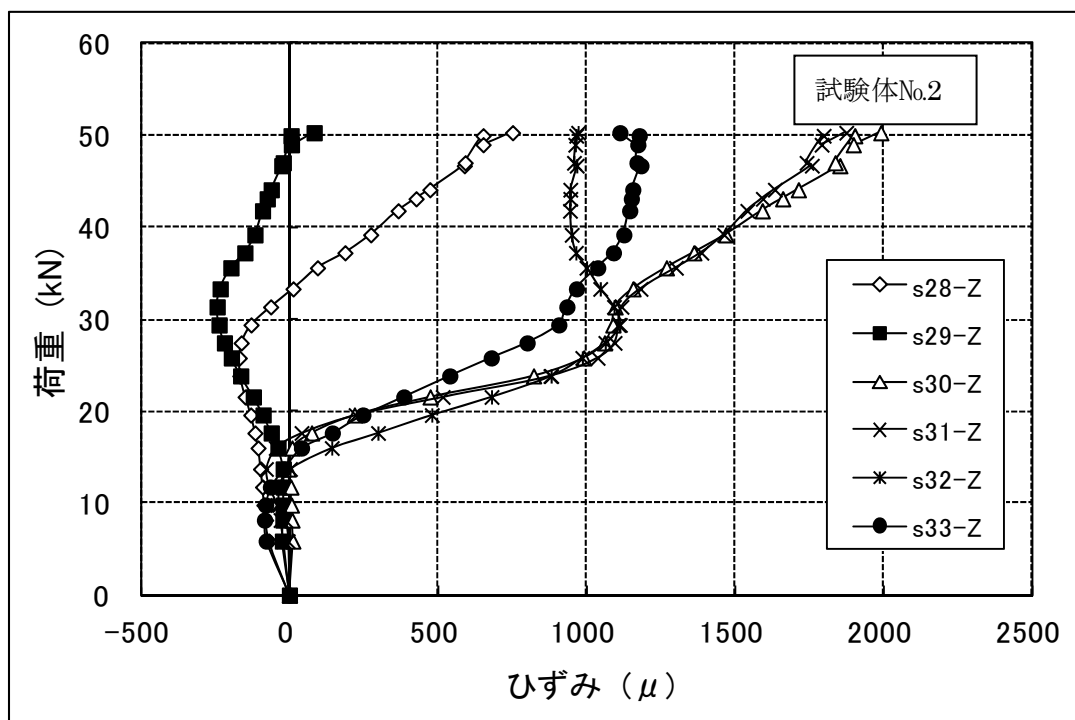
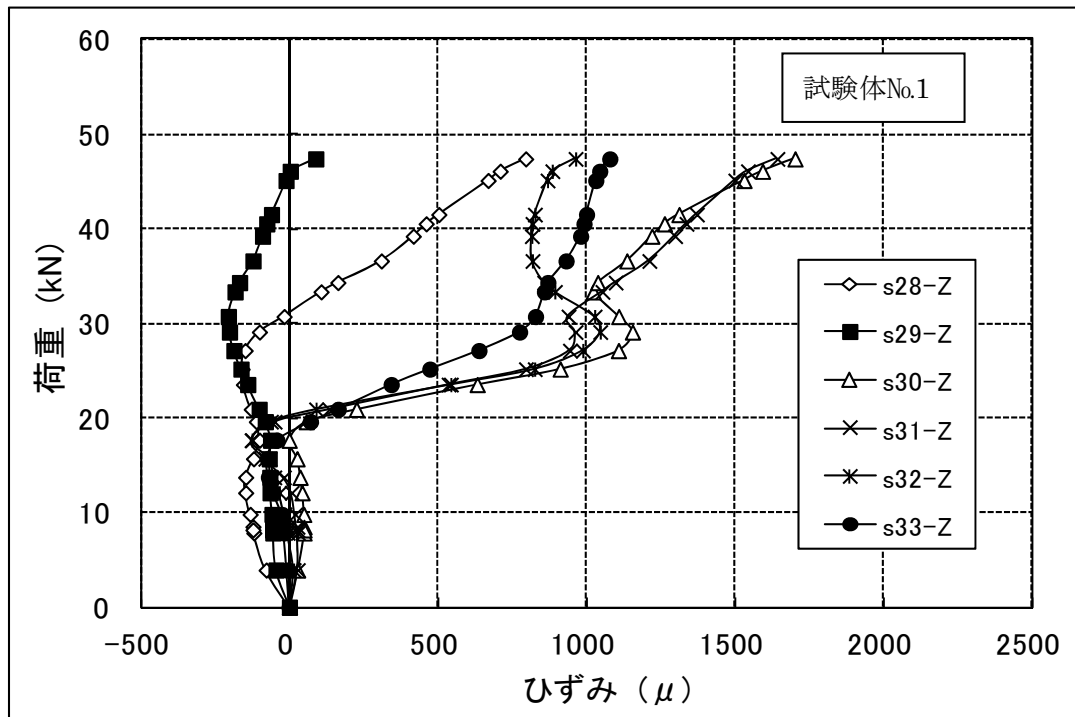


図 63 空ドラム缶 M 級の蓋付近における軸方向のひずみ

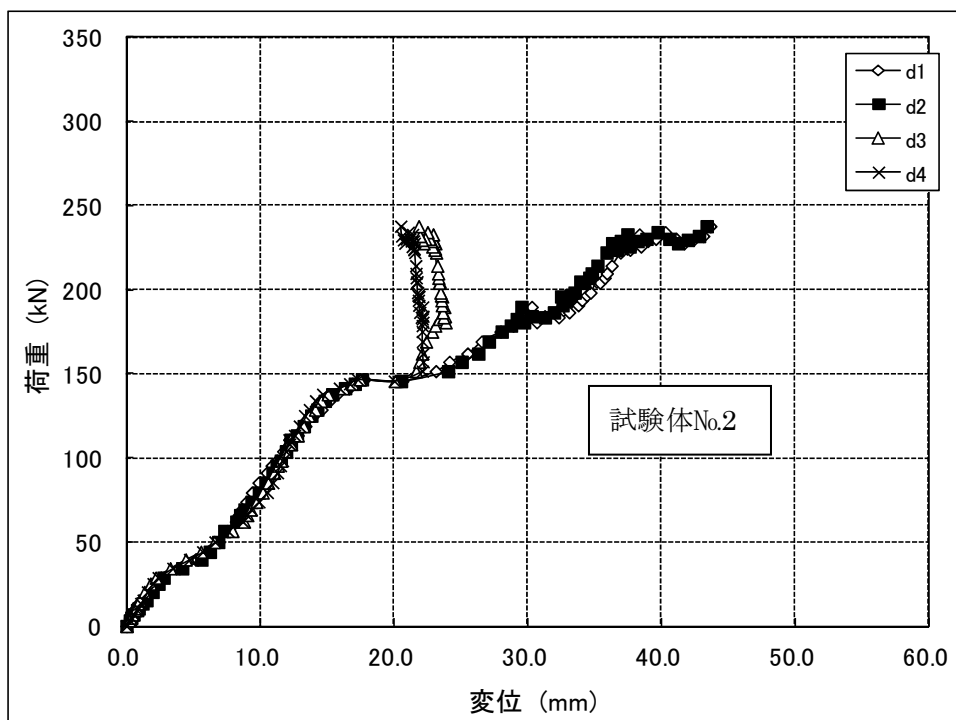
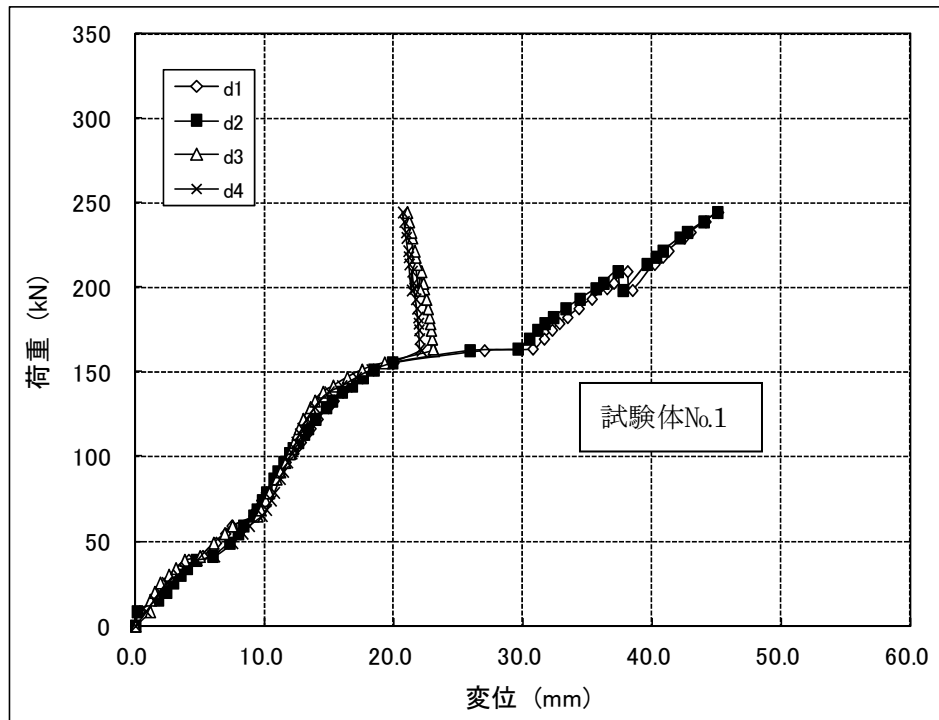


図 64 D-20 の鉛直変位

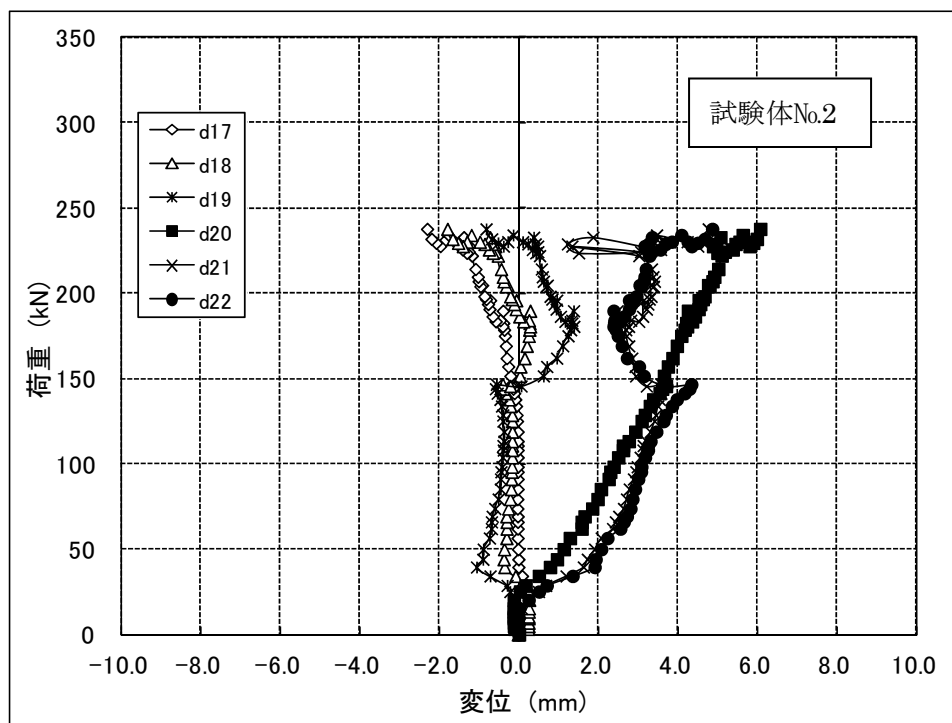
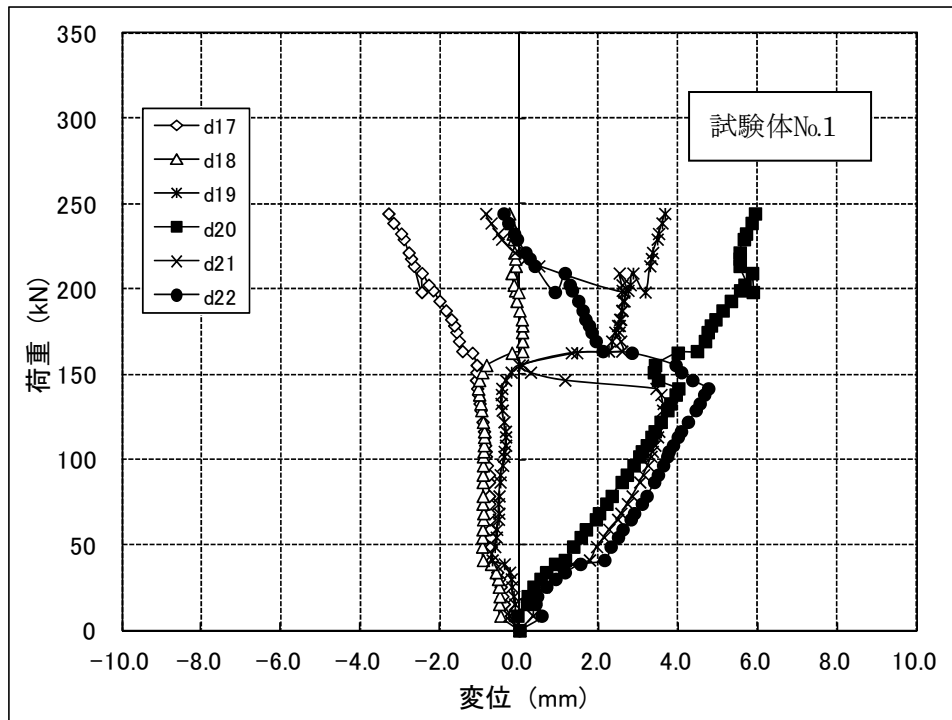


図 65 D-20 のチャイム(17, 18, 19)及び蓋(20, 21, 22)の鉛直変位

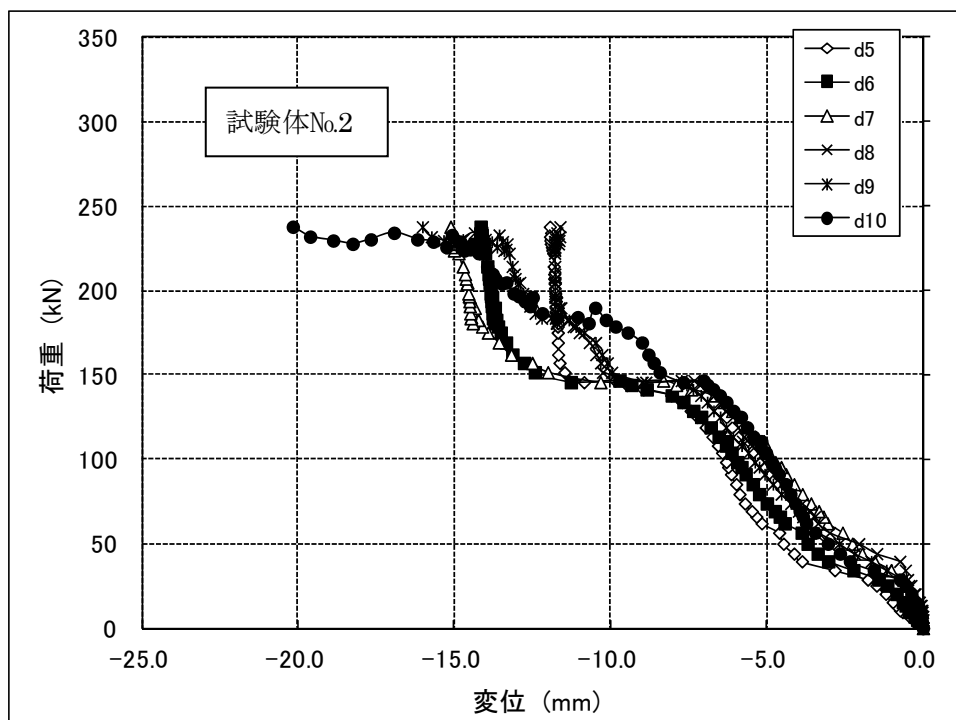
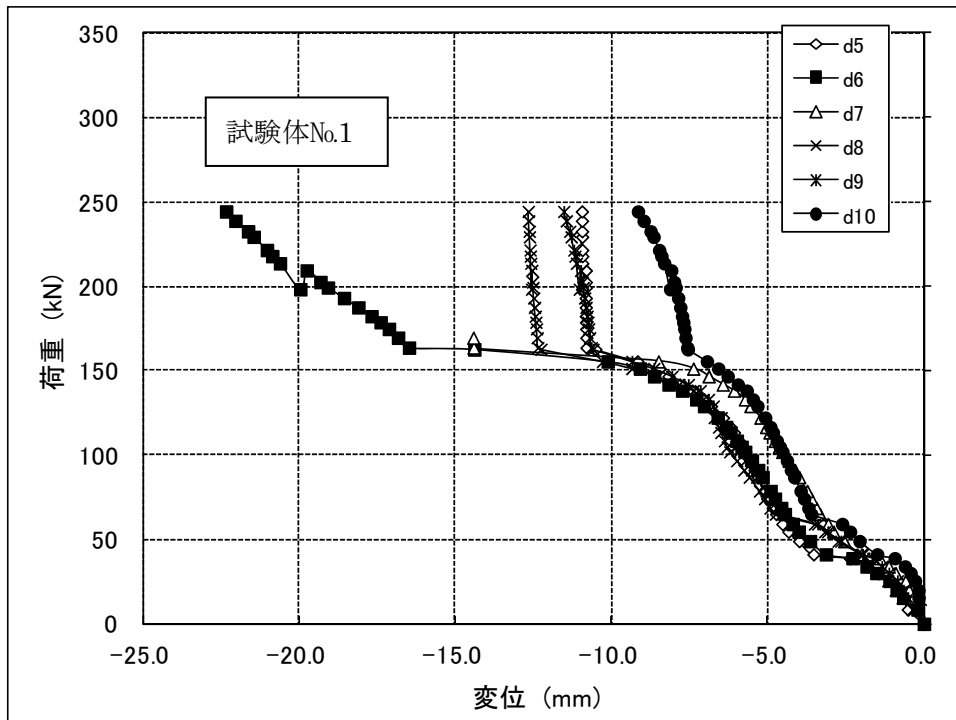


図 66 D-20 のチャイム部の淵周(5, 6)及び輪帯(6, 7, 8, 9)の上下部の変位

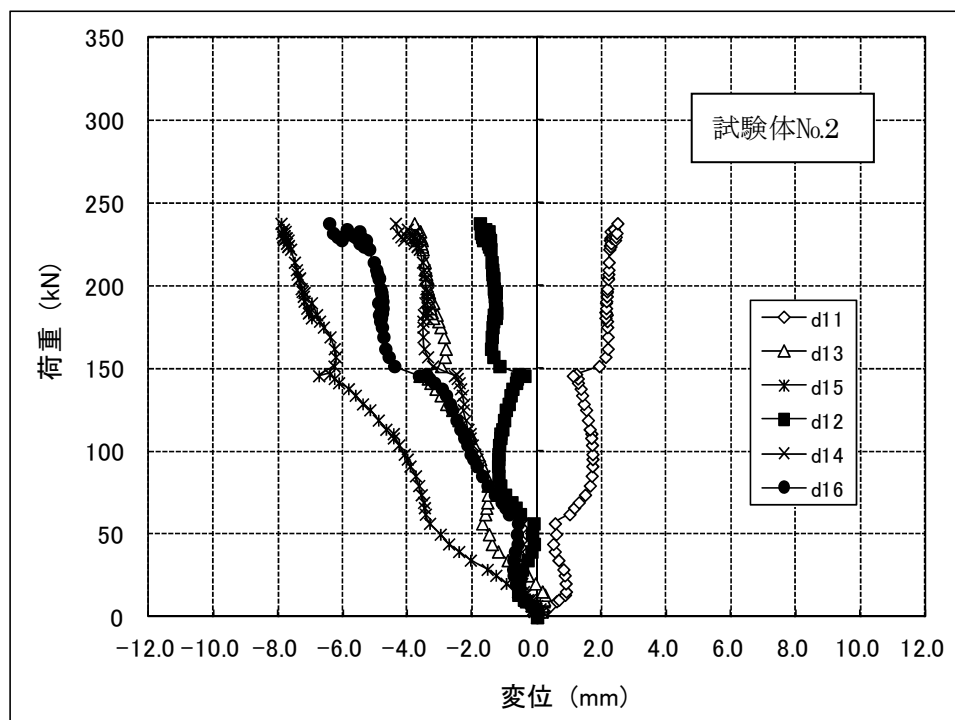
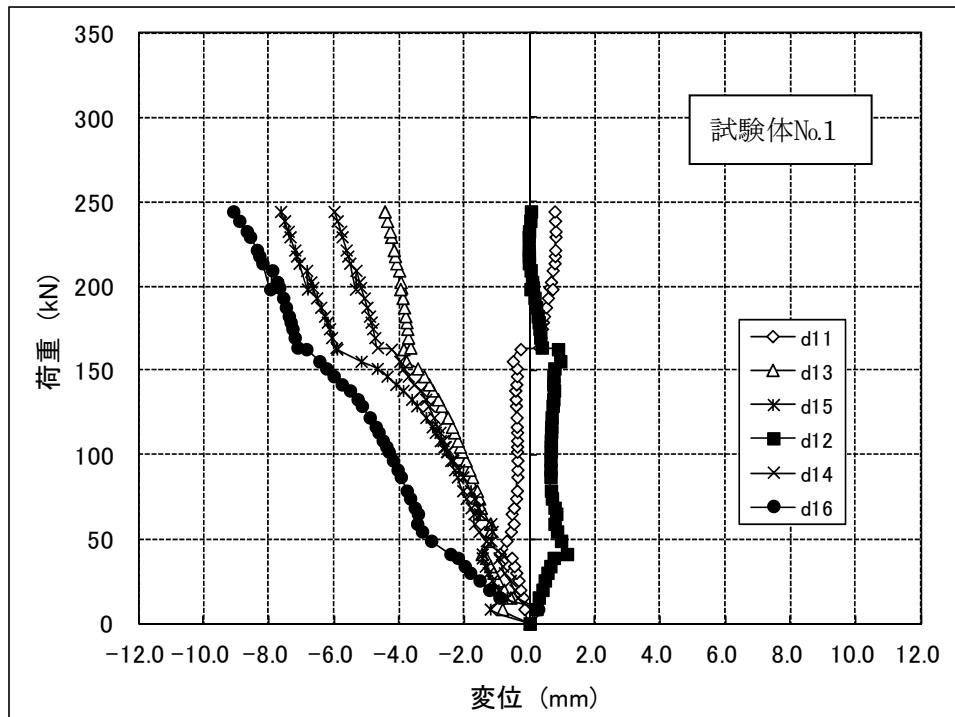


図 67 D-20 のチャーム部の淵周(11、12)及び輪帯(13,14,15,16)の側部の変位



図 68 D-20(試験体No.1)の裁荷後の変形の状況(1/2)



図 68 D-20(試験体No.2)の裁荷後の変形の状況(2/2)

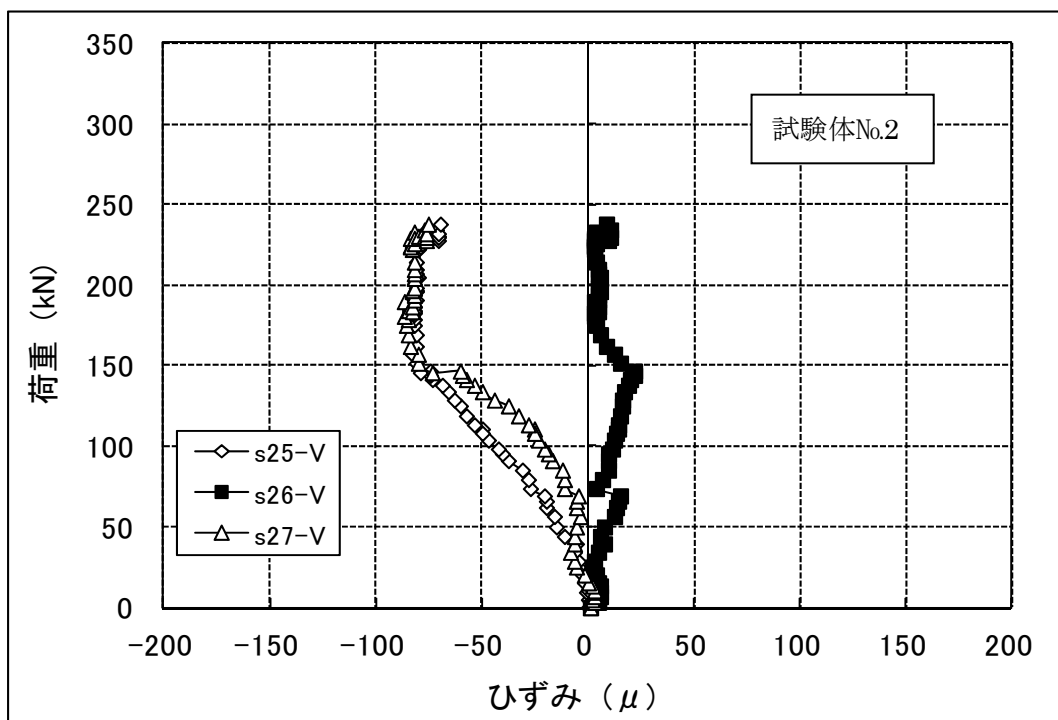
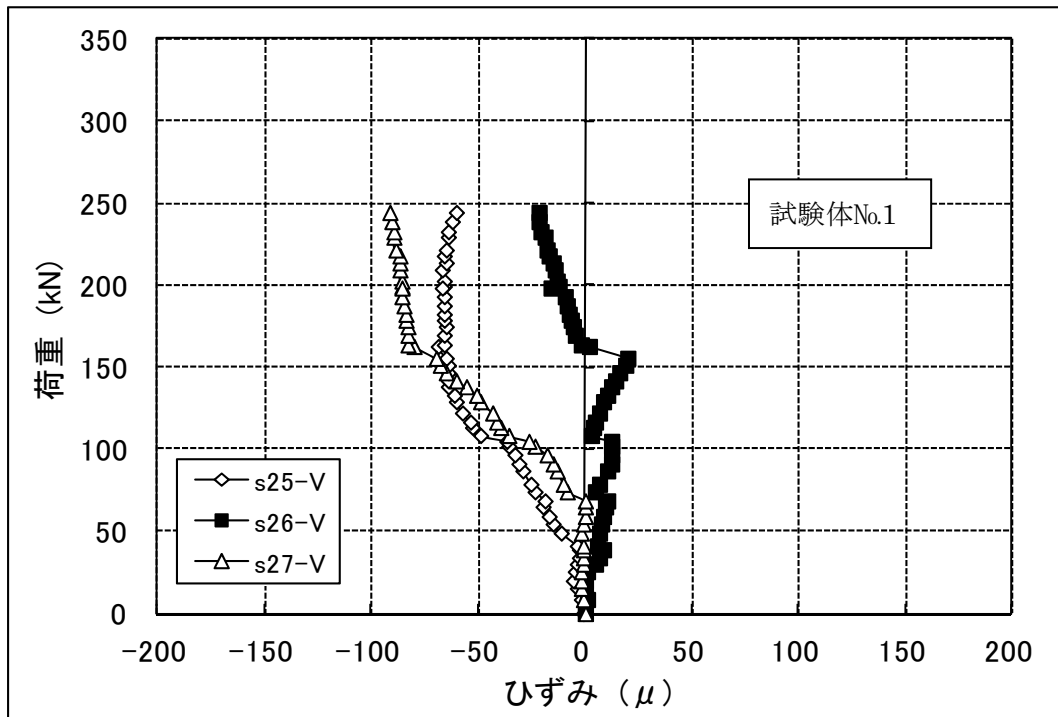


図 69 D-20 のチャイムの鉛直方向ひずみ

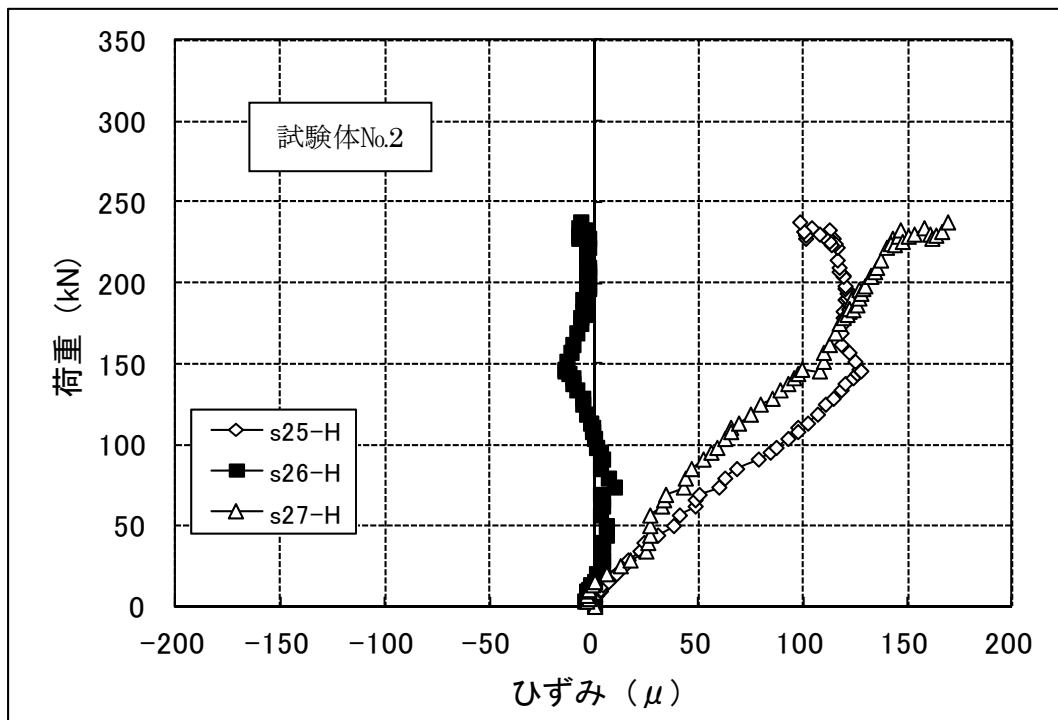
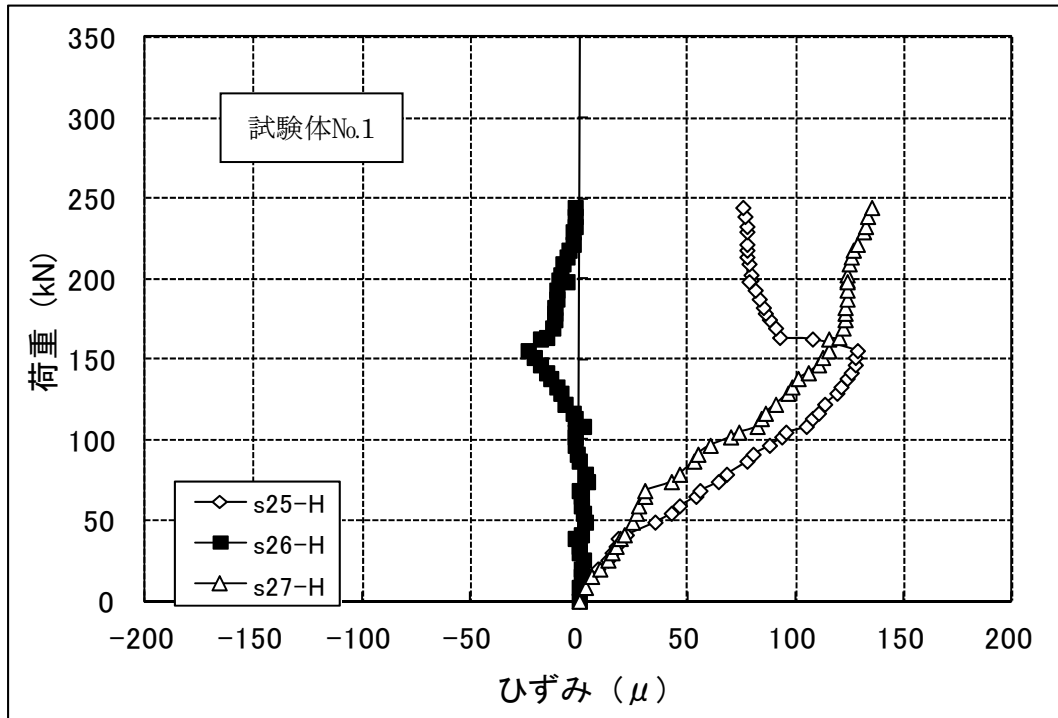


図 70 D-20 のチャイムの水平方向ひずみ

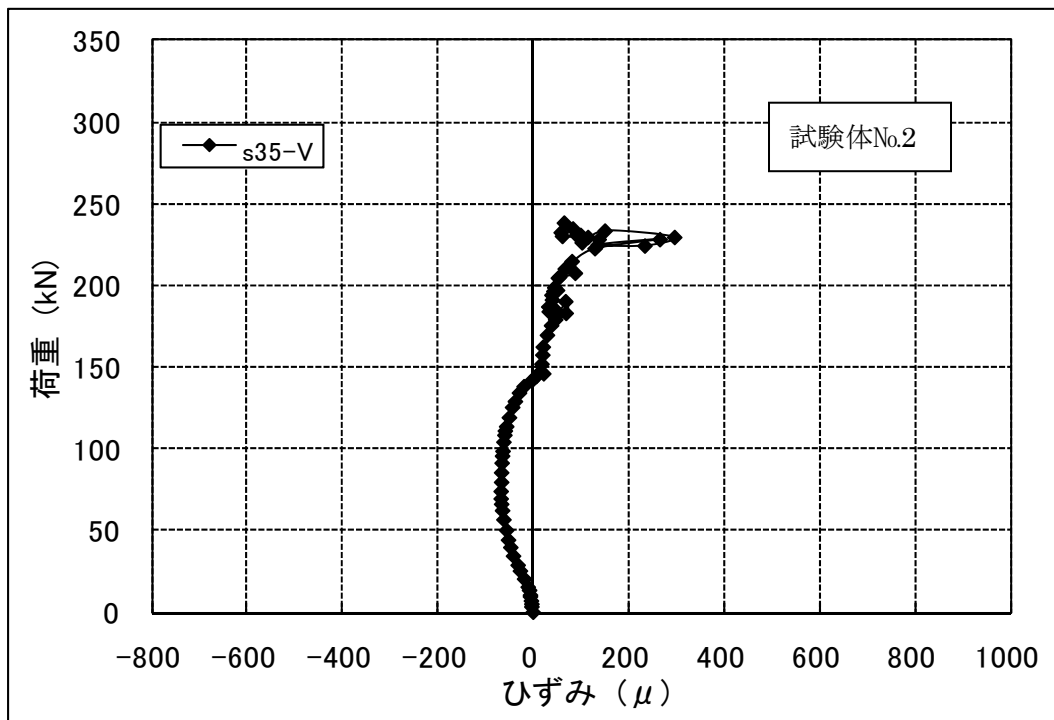
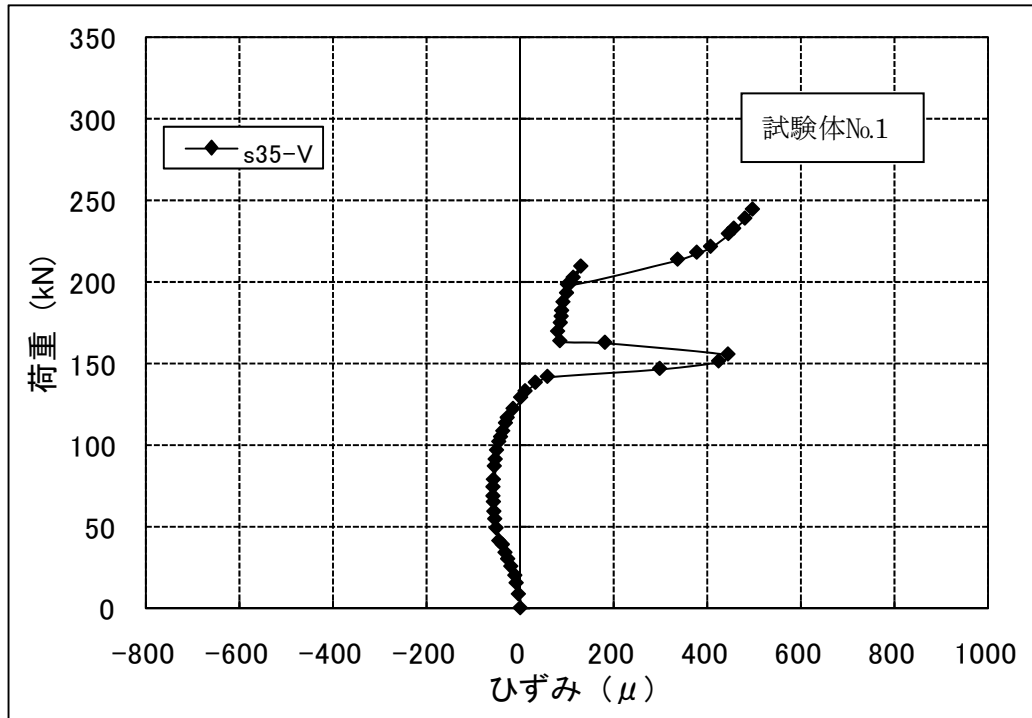


図 71 D-20 の蓋の鉛直方向ひずみ

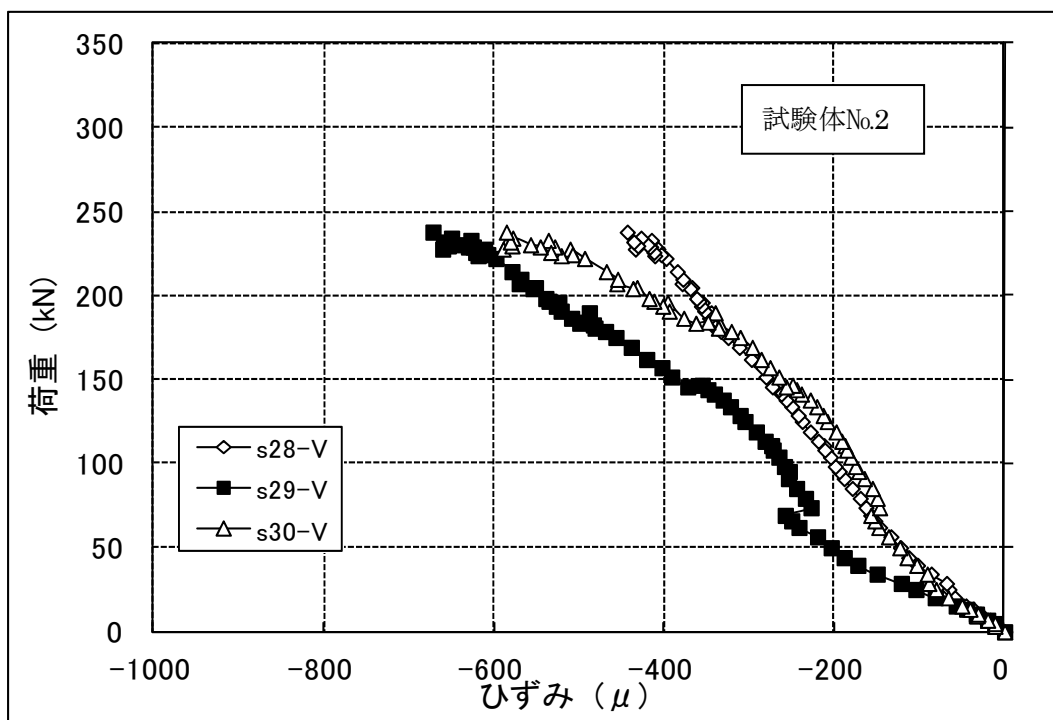
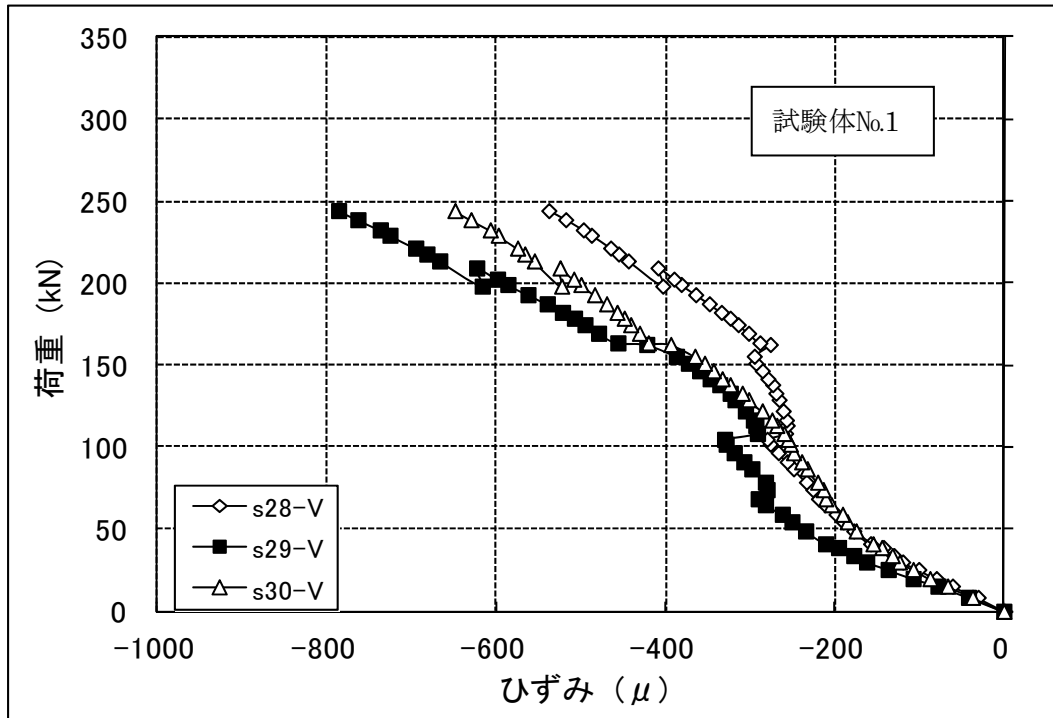


図 72 D-20 のチャイム部の内貼りコンクリートの鉛直ひずみ

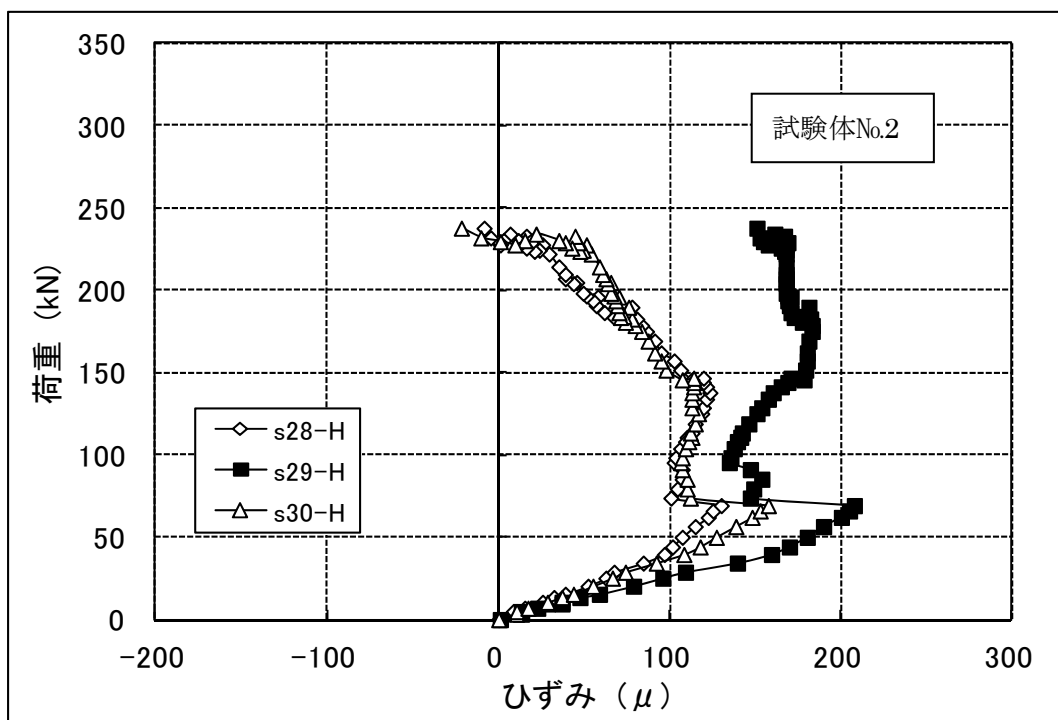
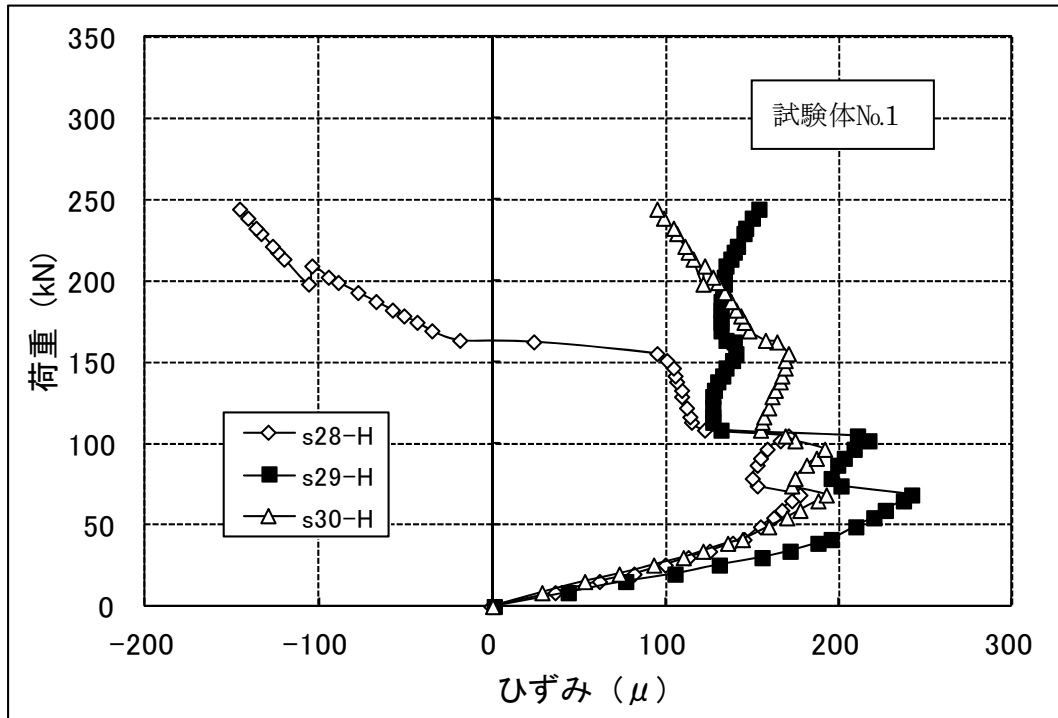


図 73 D-20 のチャイム部の内貼りコンクリートの水平方向ひずみ

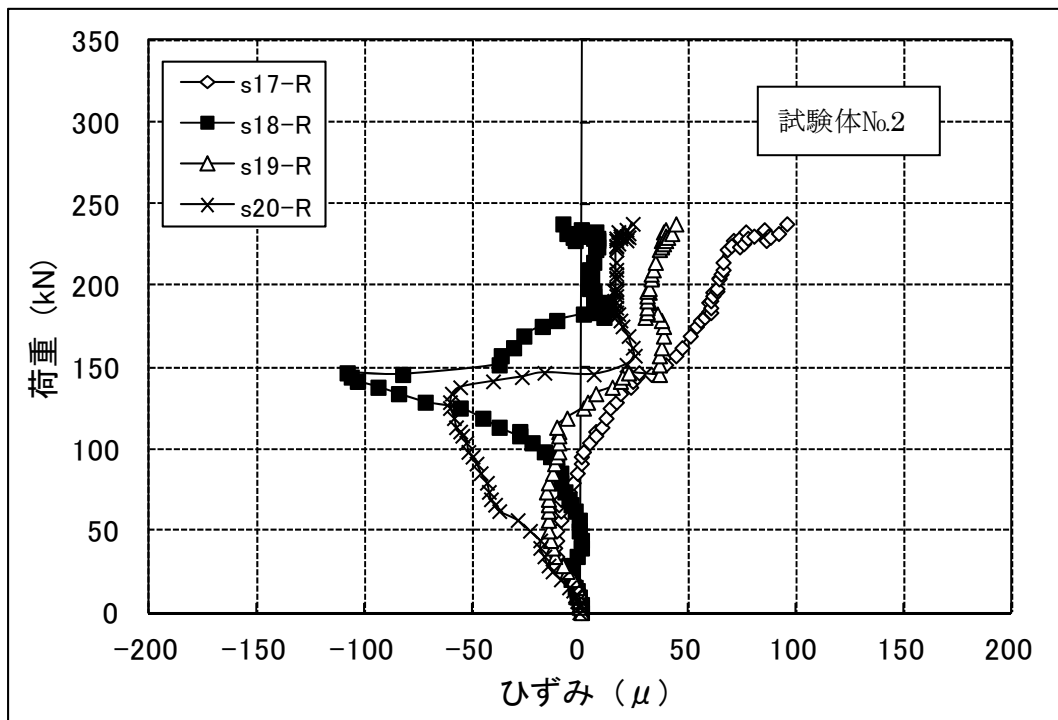
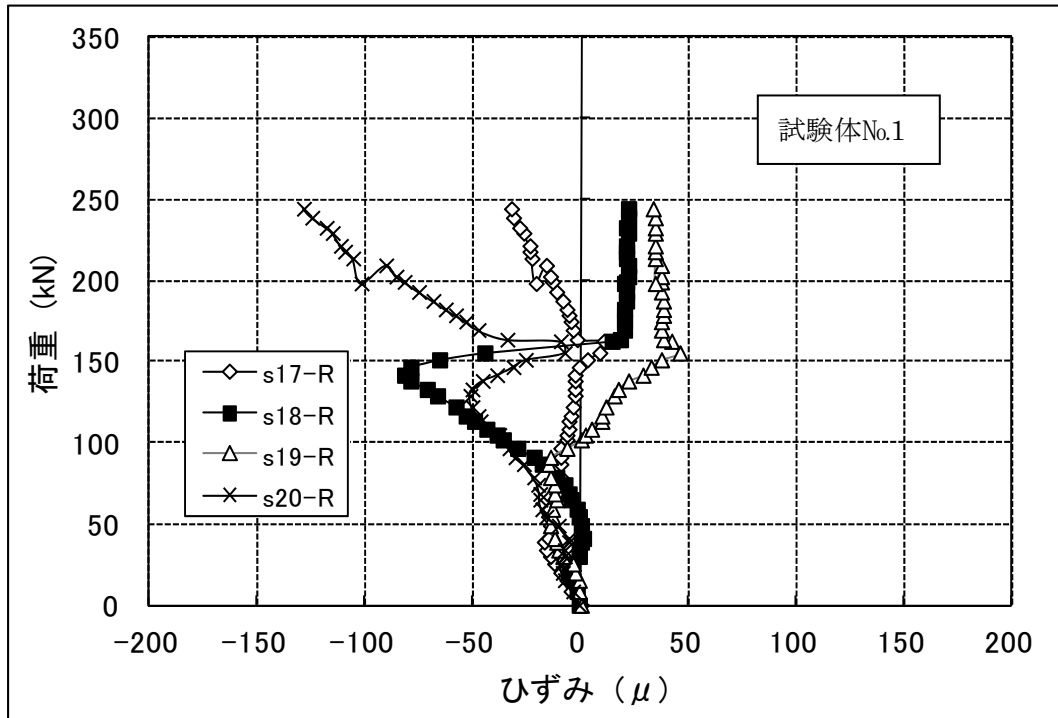


図 74 D-20 のチャーム部淵周の円周方向ひずみ

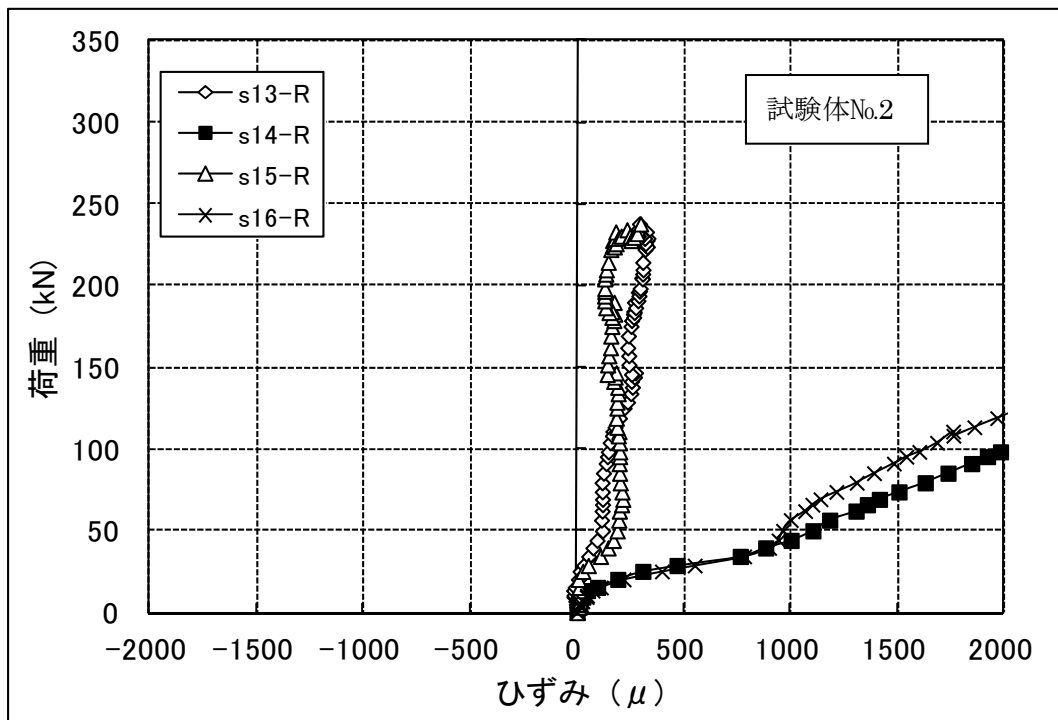
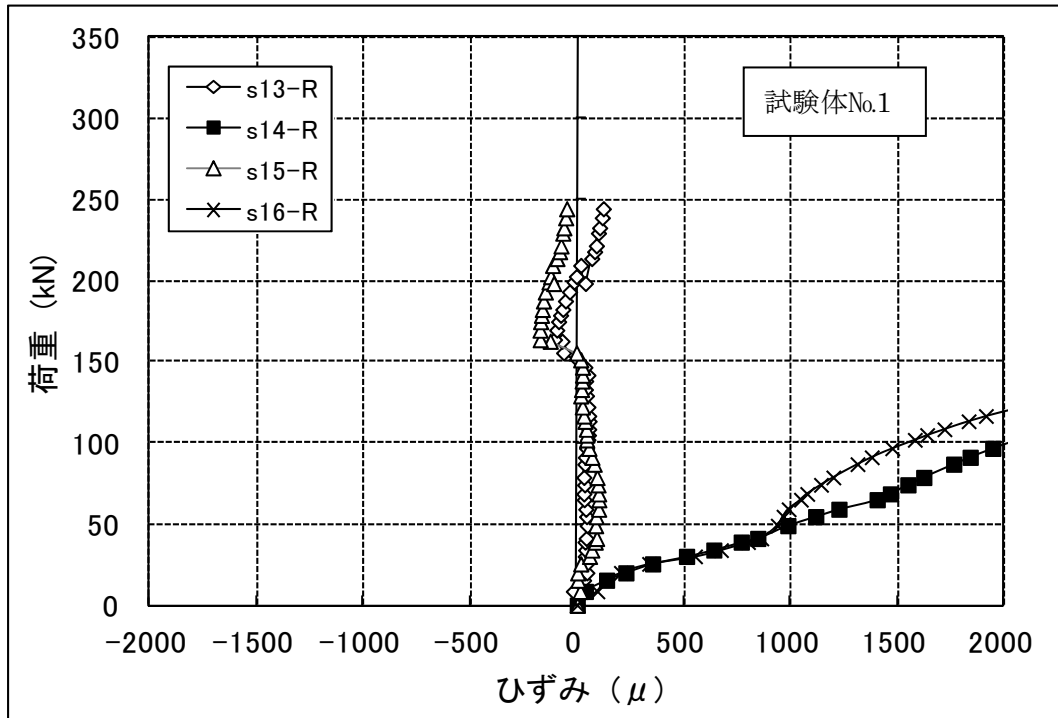


図 75 D-20 の第一輪帯の円周方向ひずみ

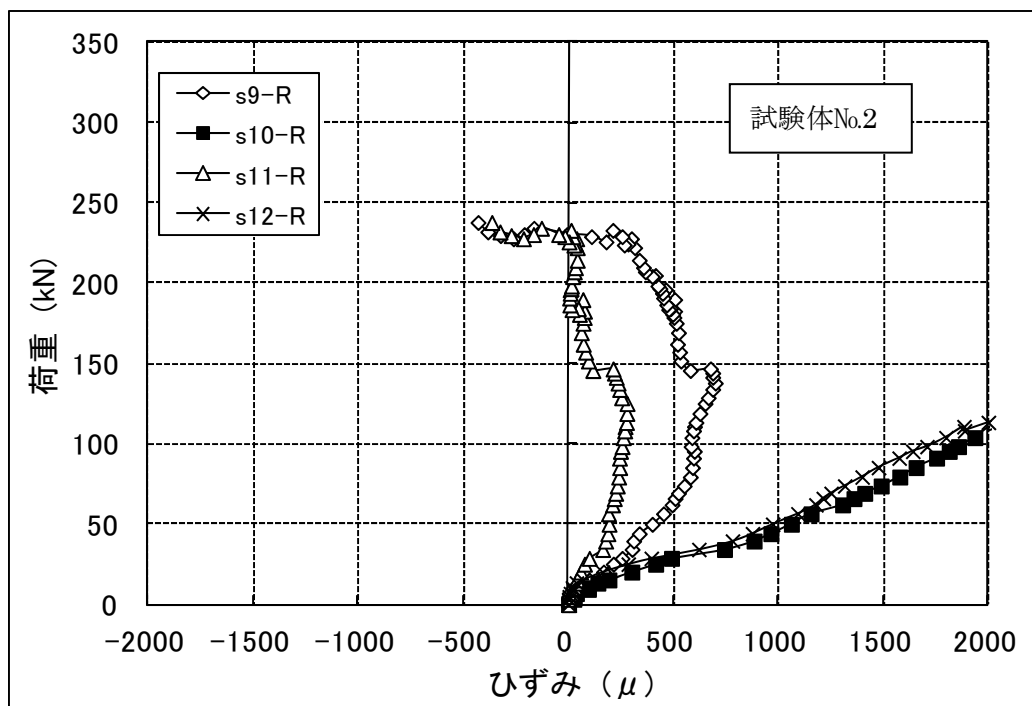
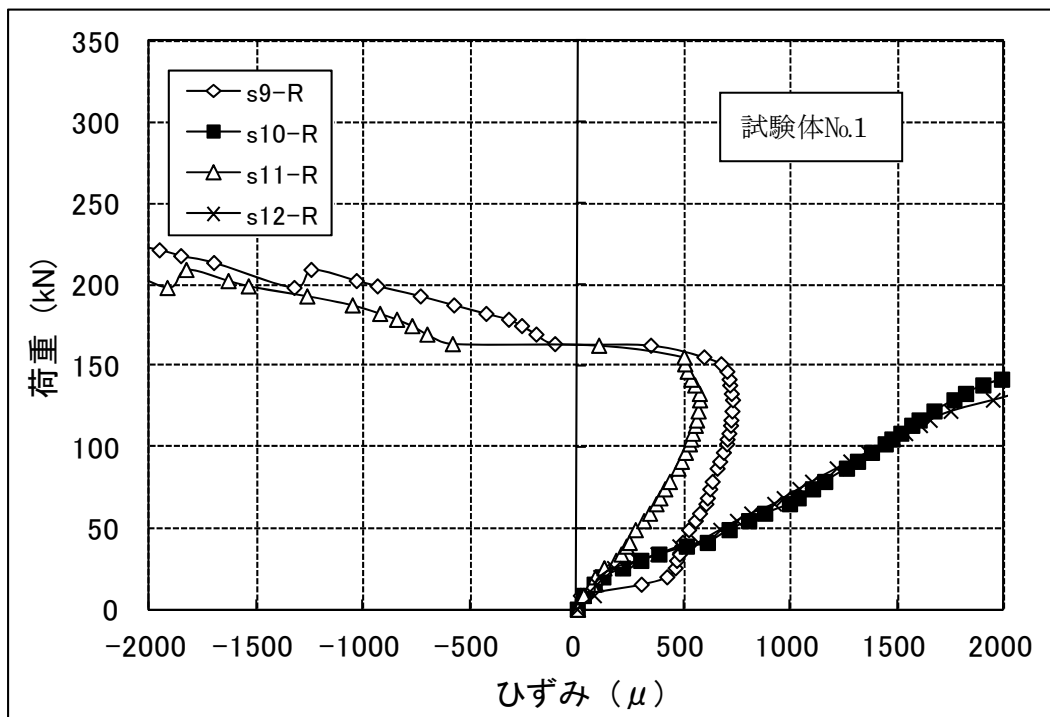


図 76 D-20 の第二輪帯の円周方向ひずみ

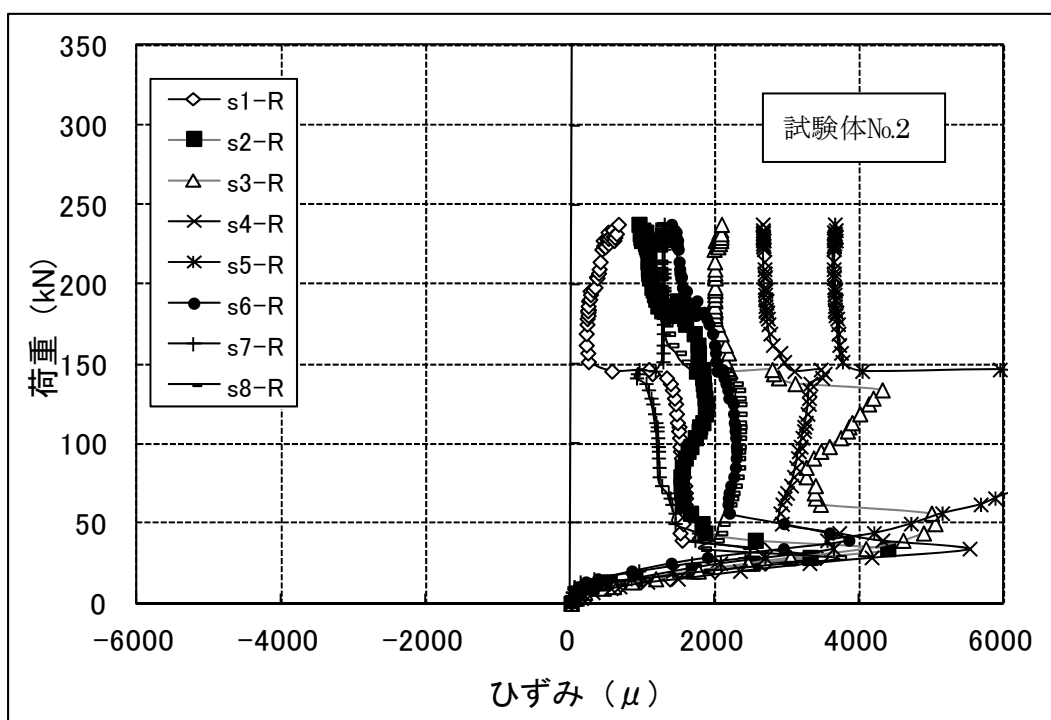
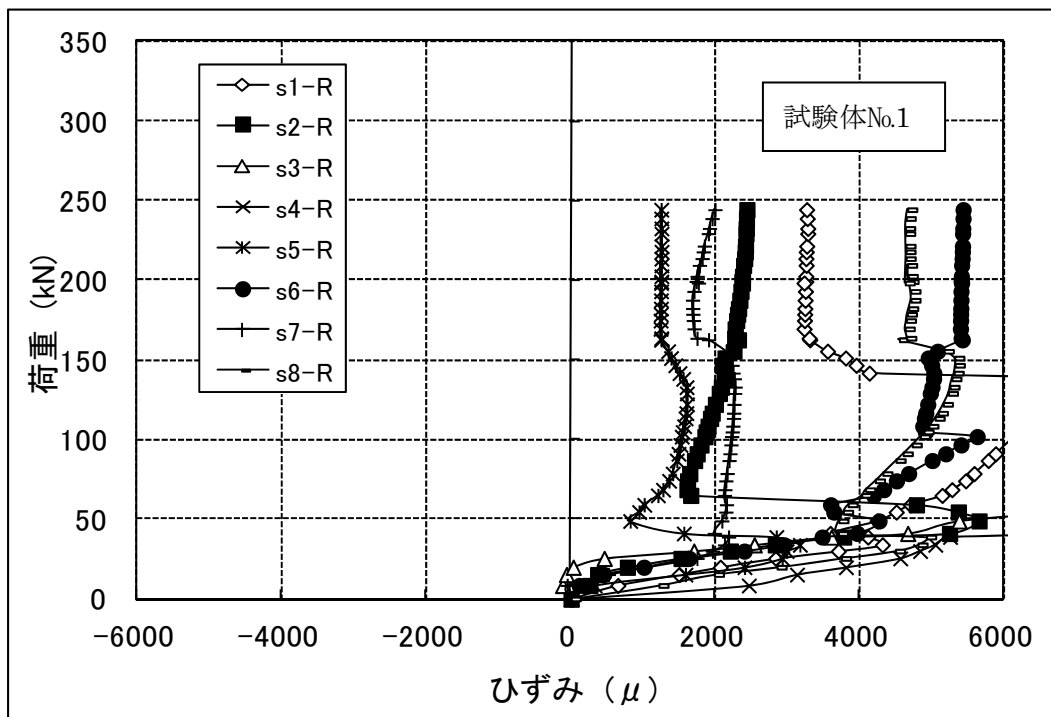


図 77 D-20 の治具接触点における円周方向ひずみ

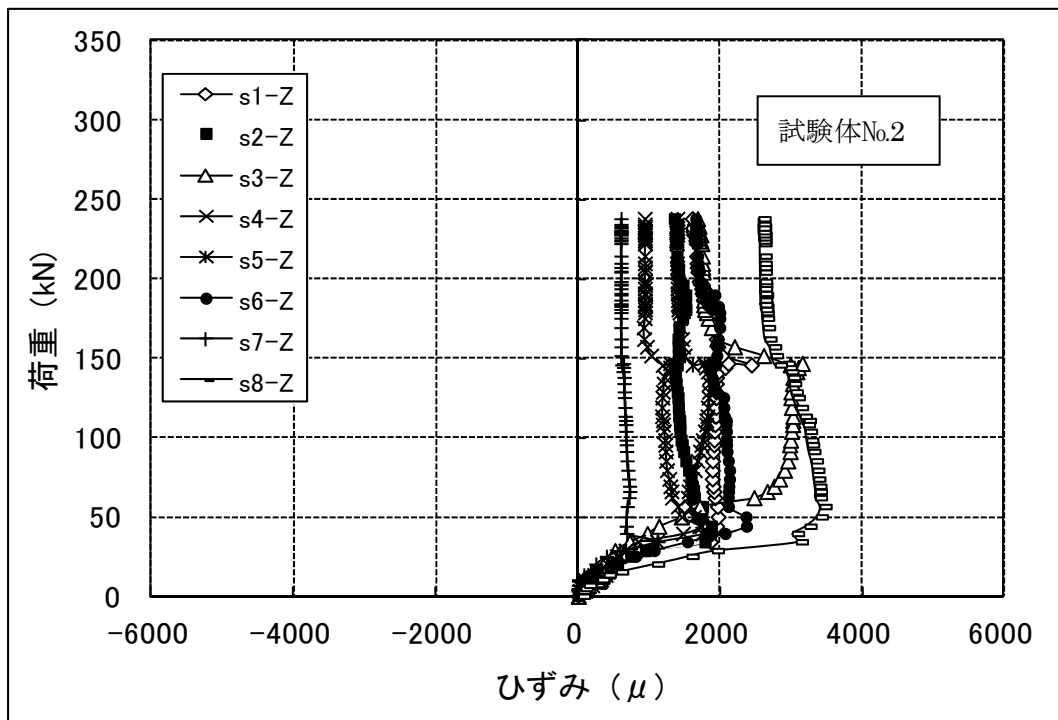
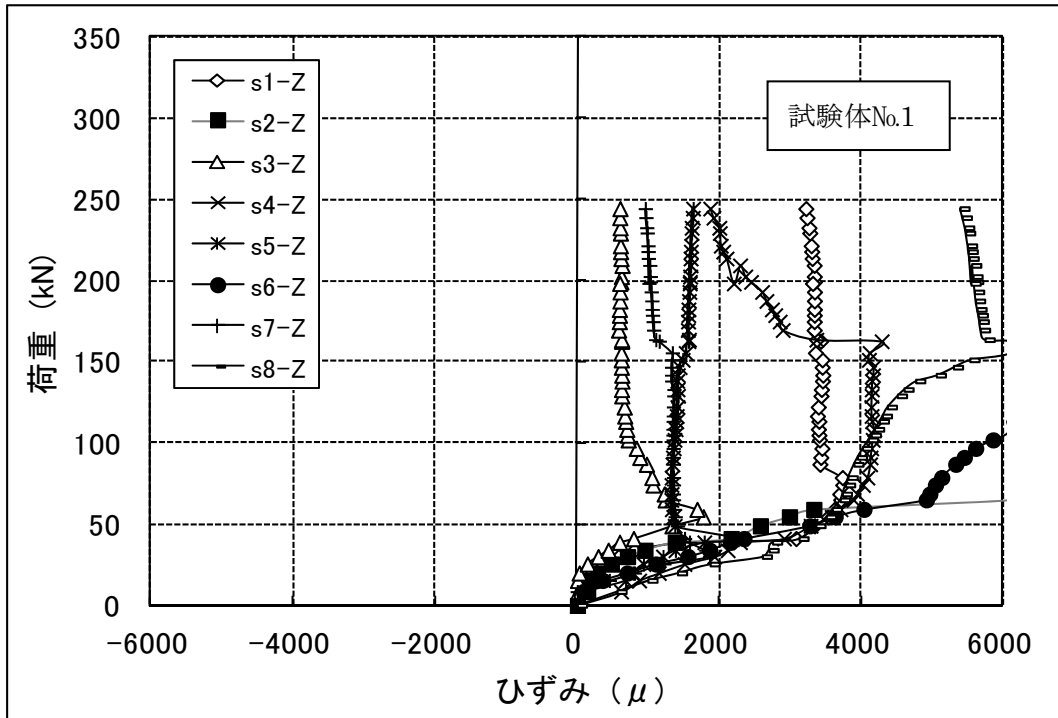


図 78 D-20 の治具接触点における軸方向ひずみ

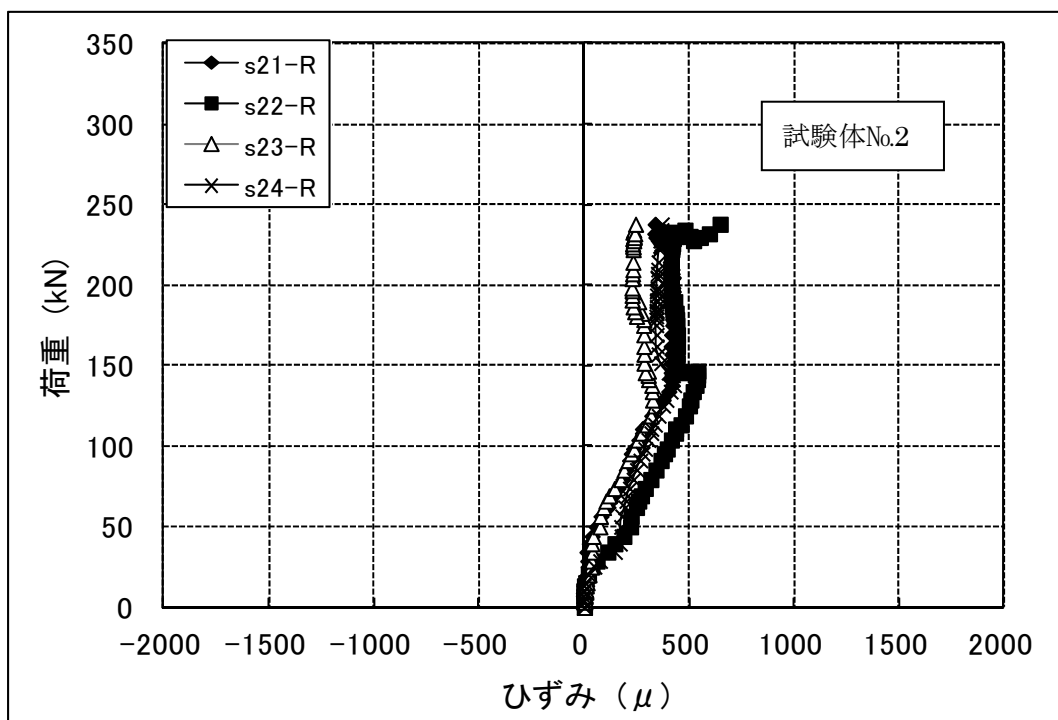
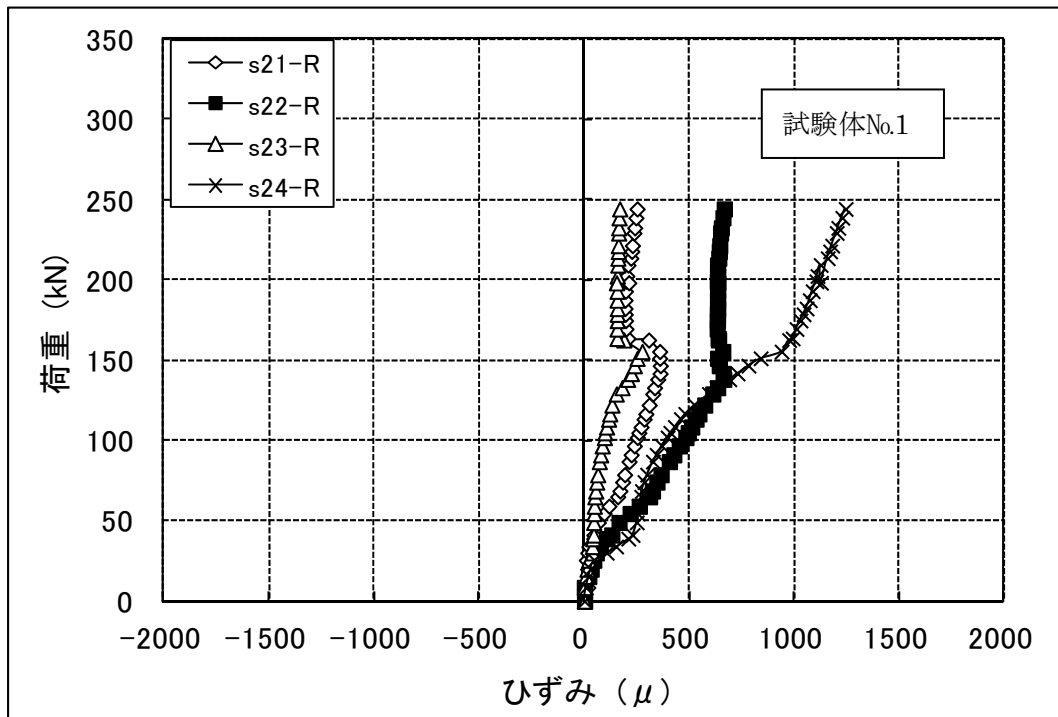


図 79 D-20 の治具接触点におけるドラム缶側面の円周方向ひずみ

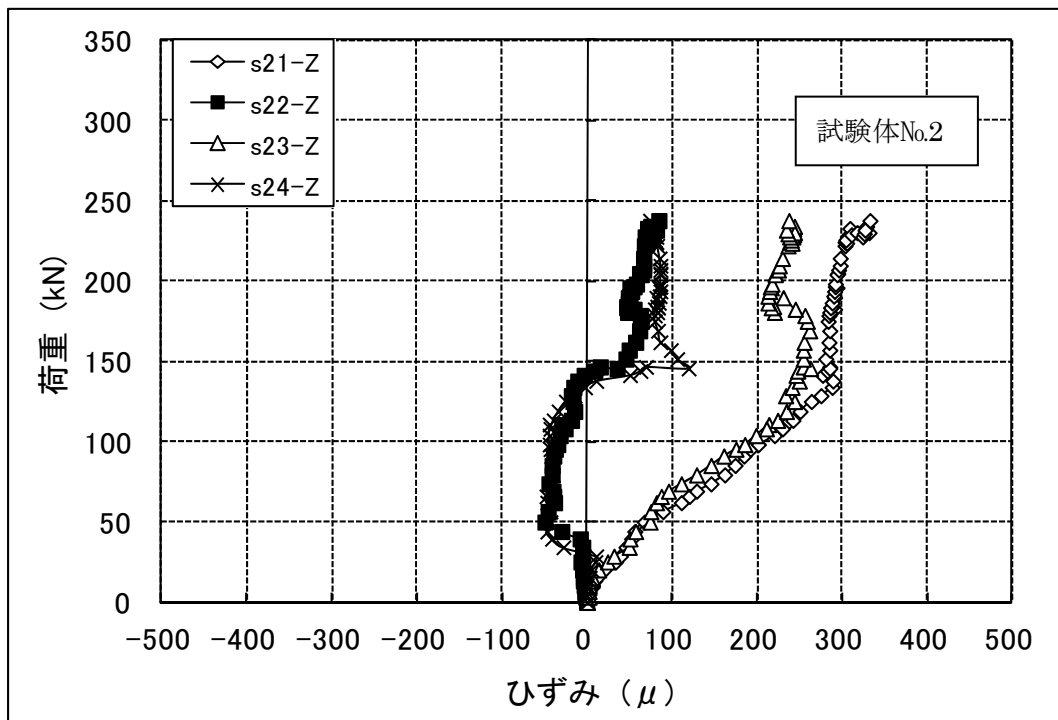
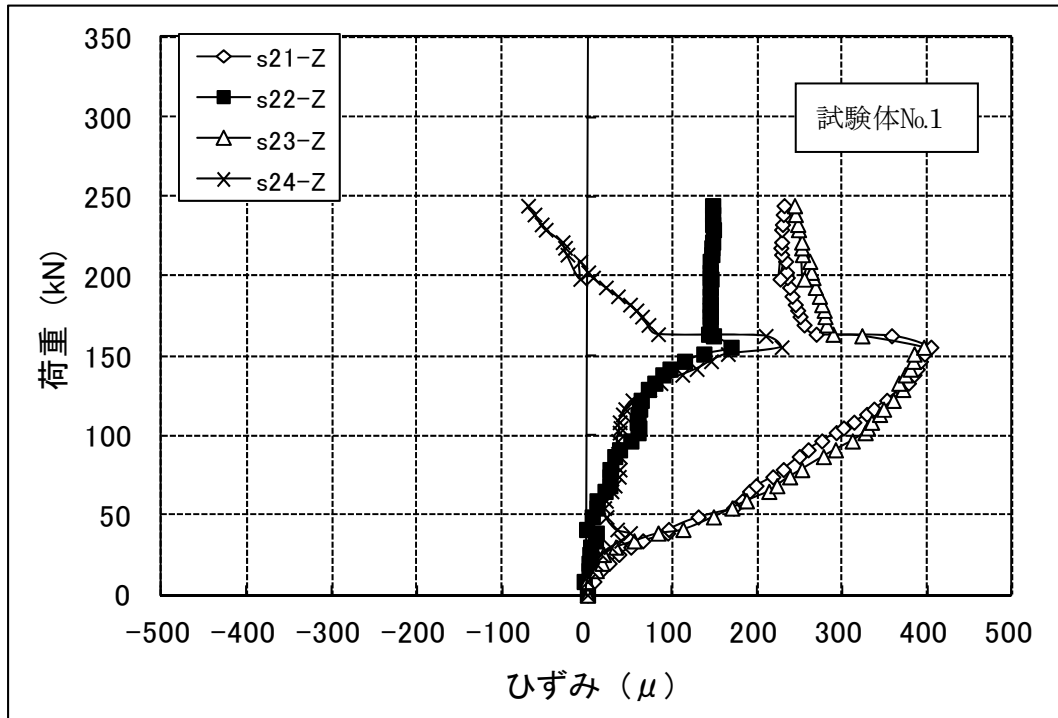


図 80 D-20 の治具接触点におけるドラム缶側面の軸方向ひずみ

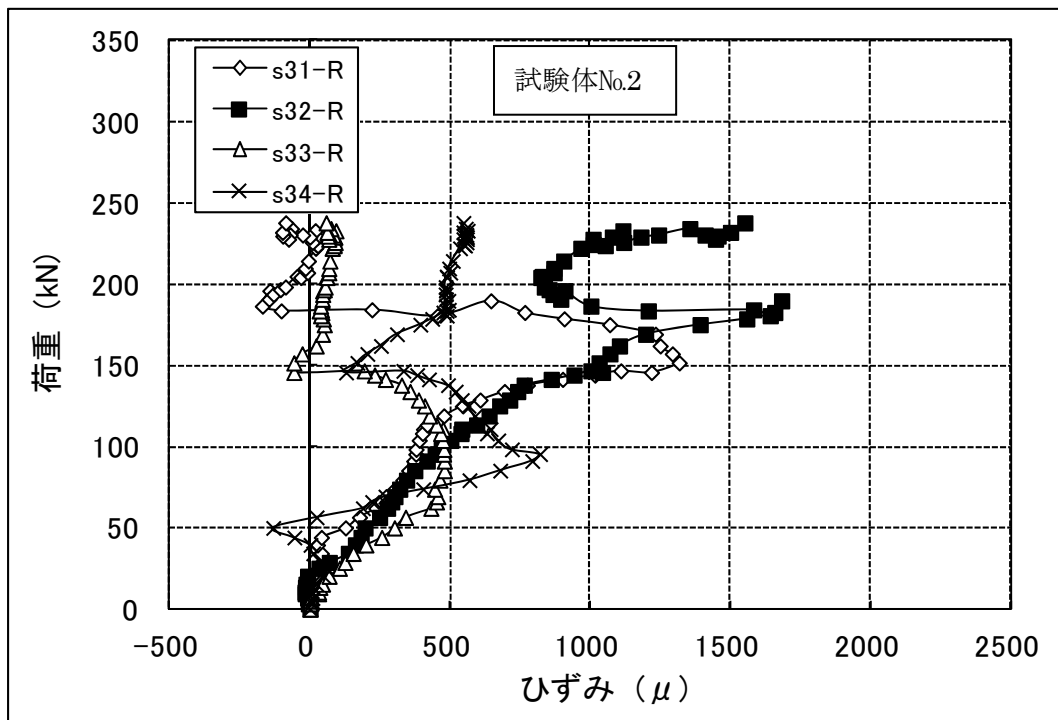
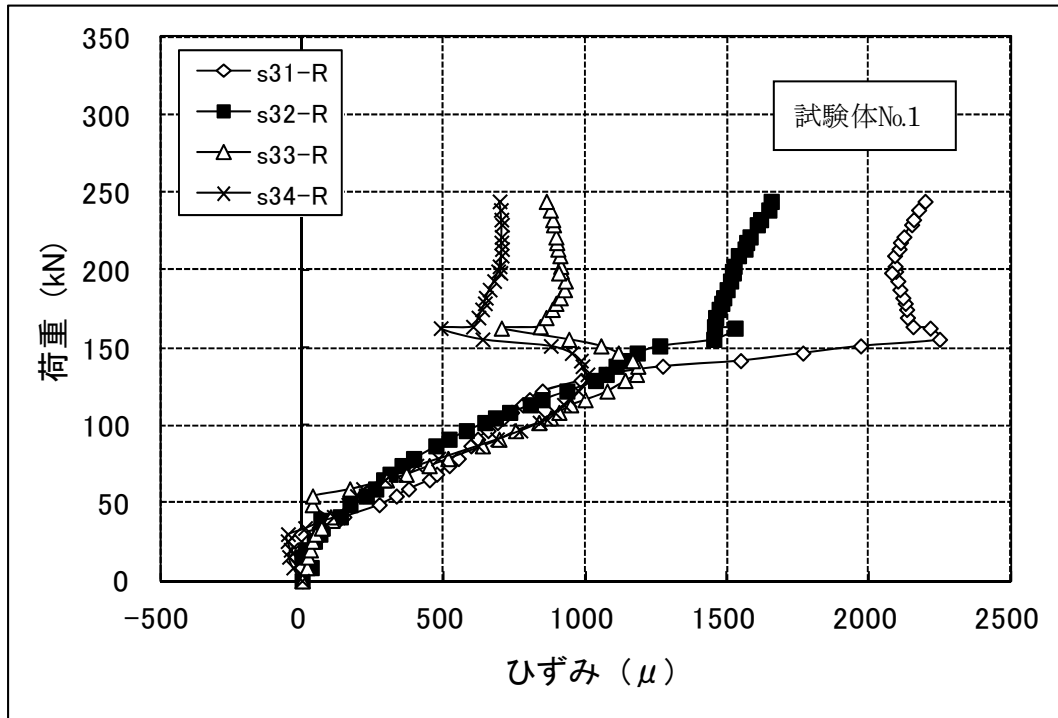


図 81 D-20 の蓋付近における円周方向ひずみ

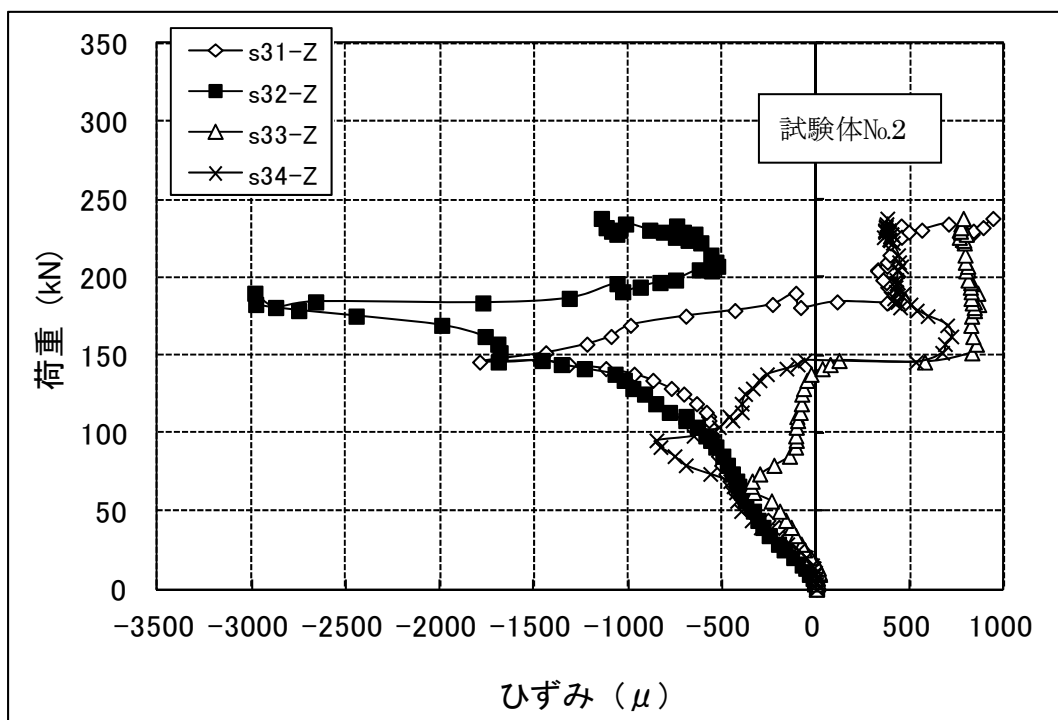
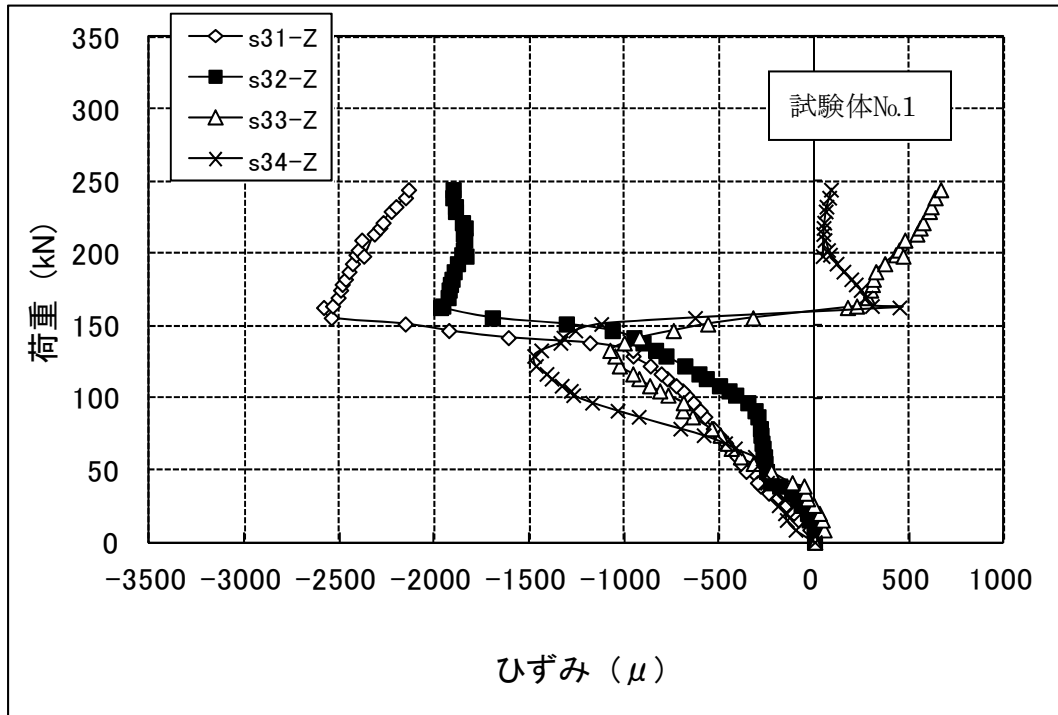


図 82 D-20 の蓋付近における軸方向ひずみ

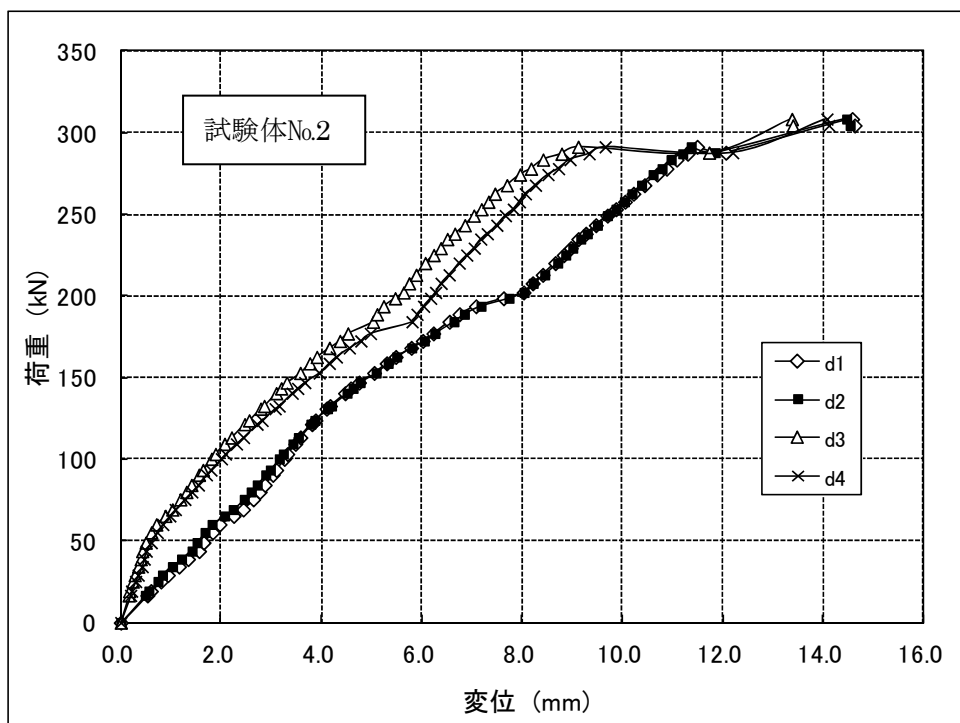
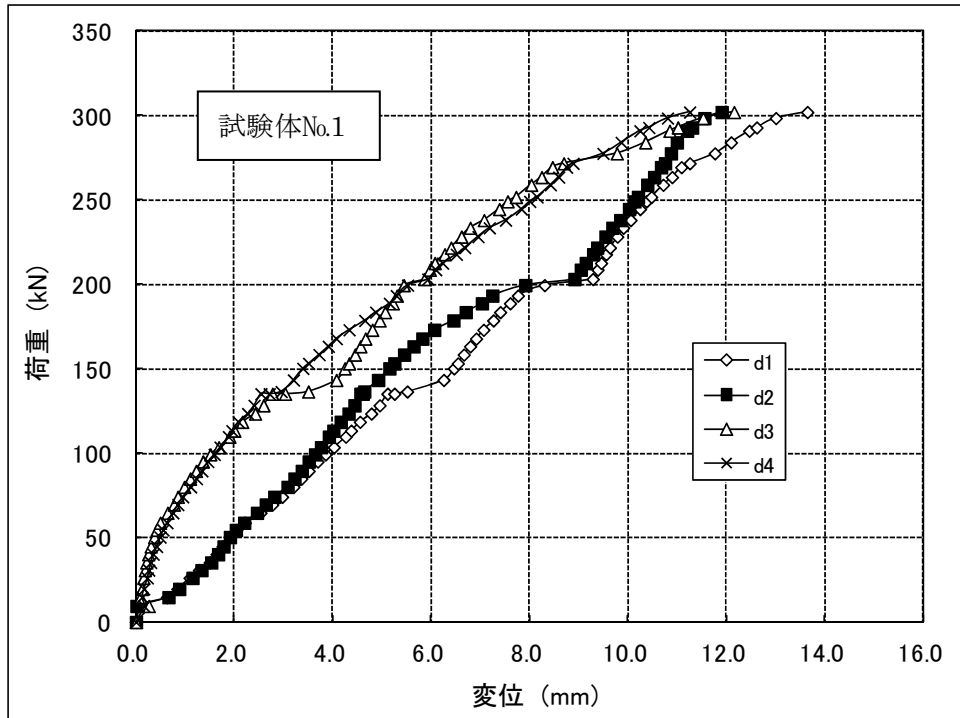


図 83 D-50-50 の鉛直変位

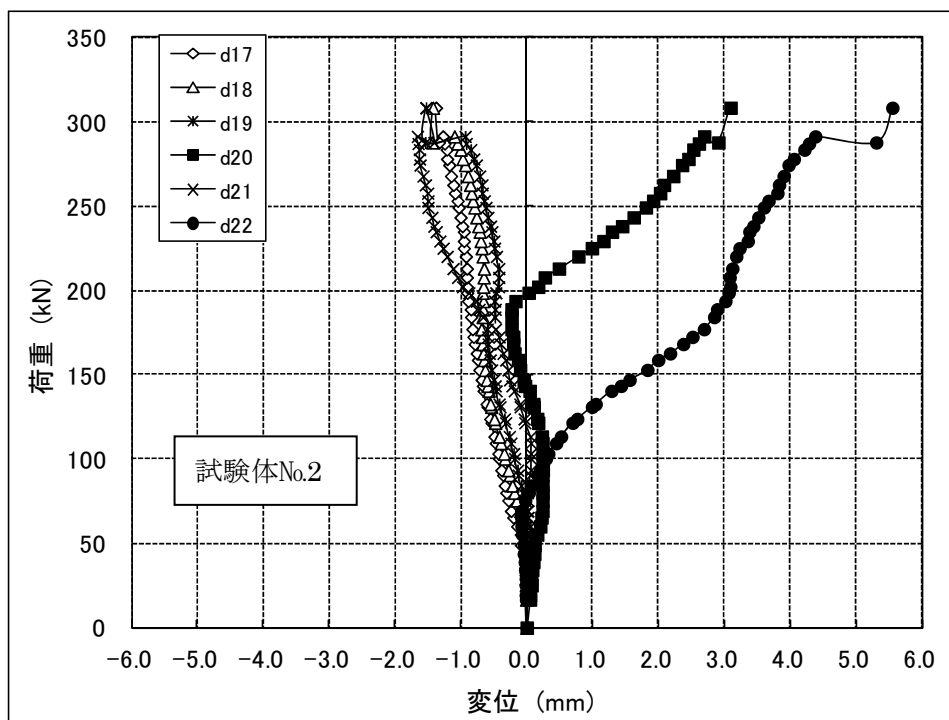
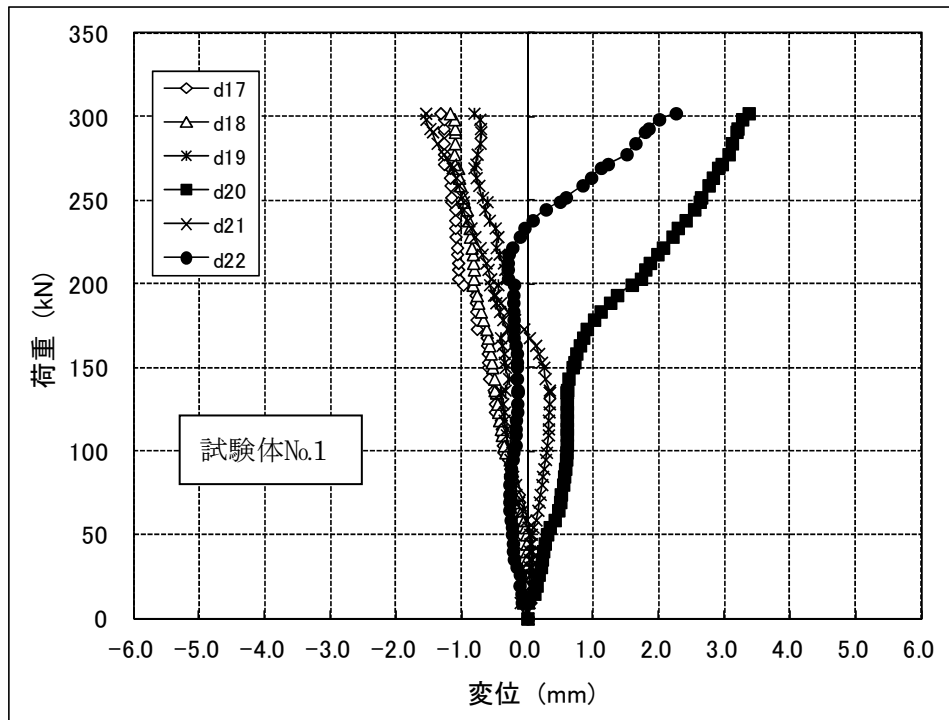


図 84 D-50-50 のチャイム(17,18,19)及び蓋(20, 21, 22)の鉛直変位

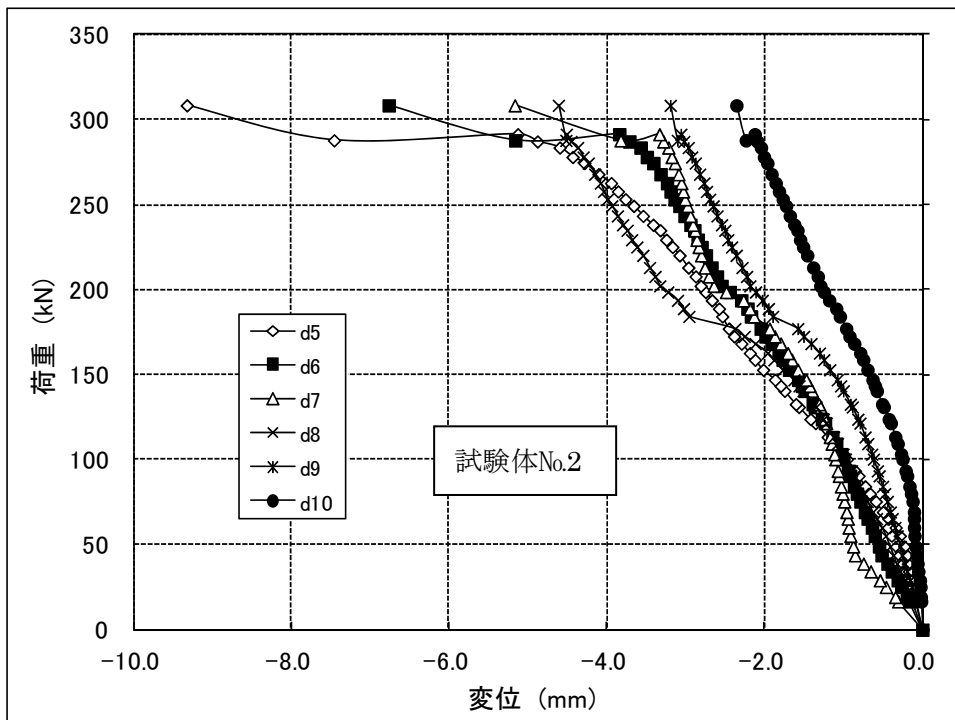
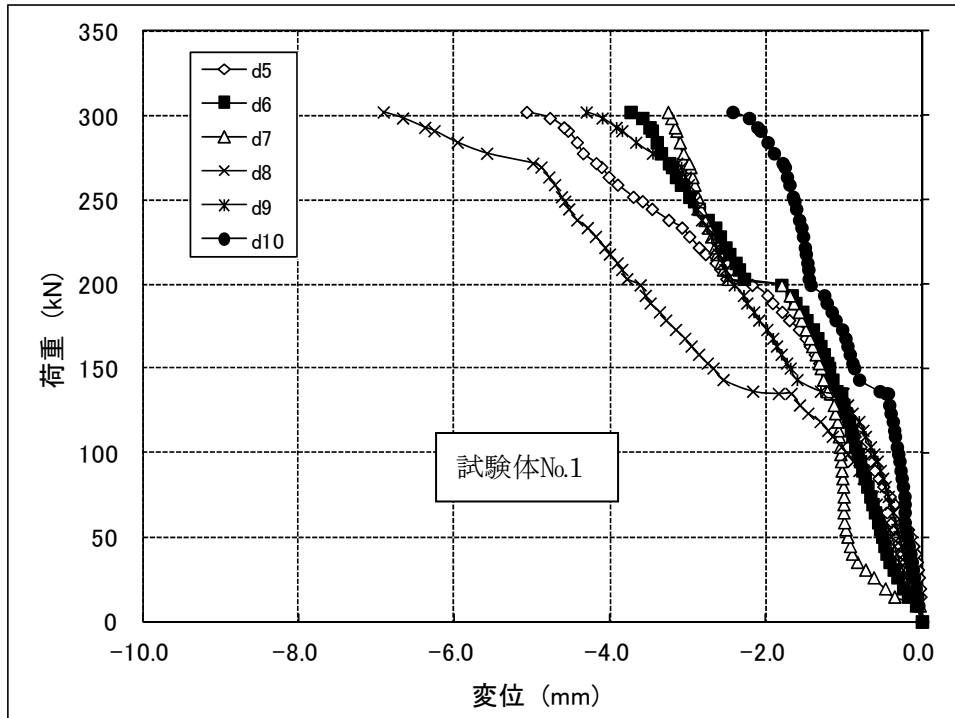


図 85 D-50-50 のチャイム部の淵周(5, 6)及び輪帯(6, 7, 8, 9)の上下部の変位

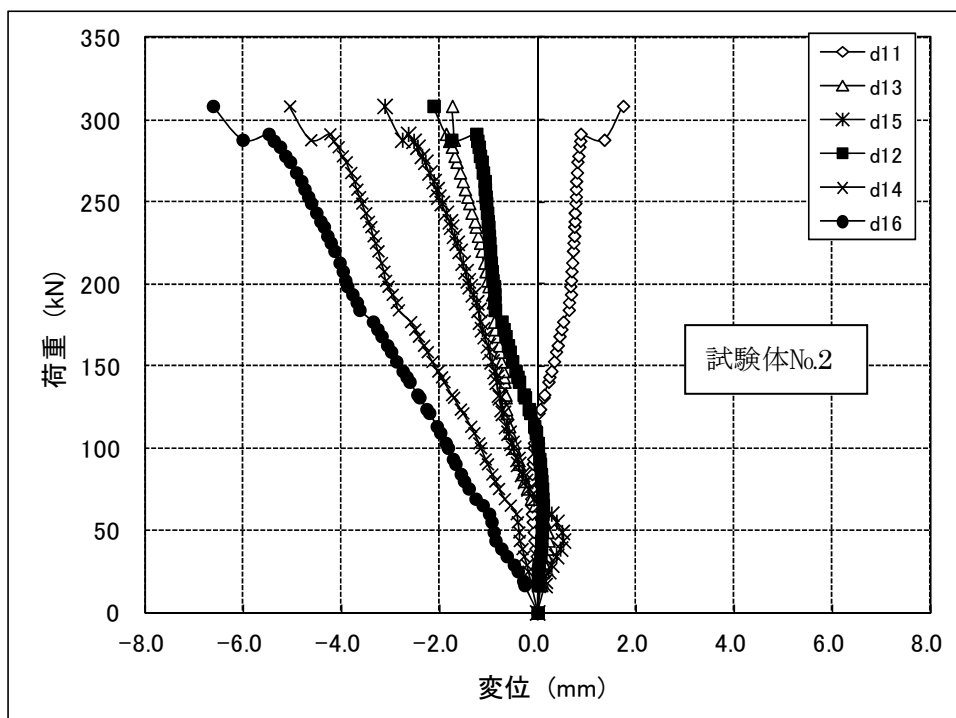
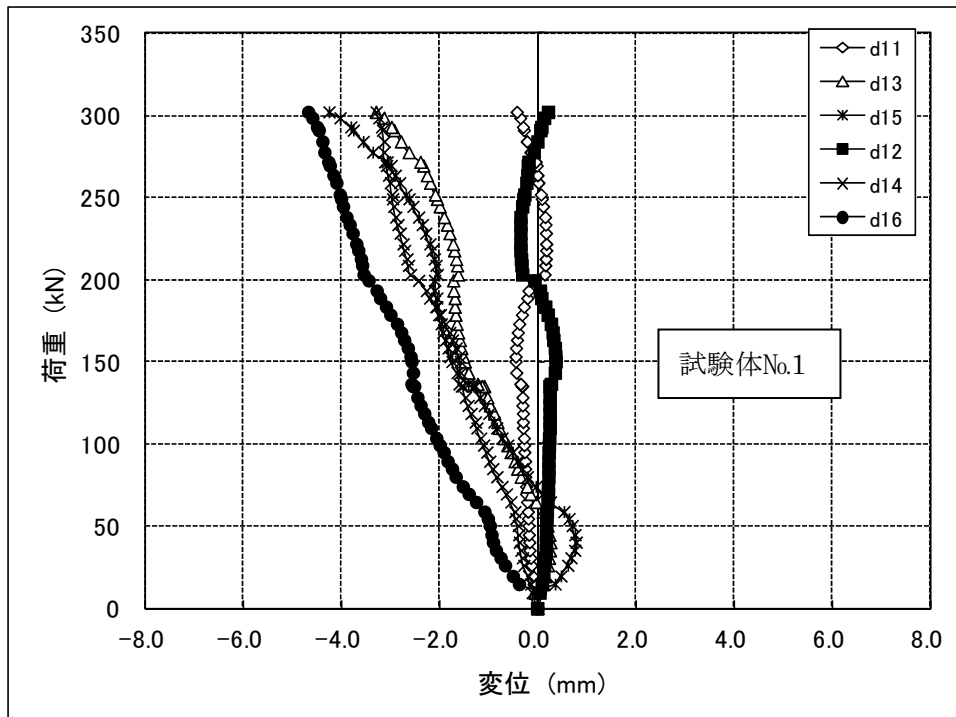


図 86 D-50-50 のチャイム部の淵周(11,12)及び輪帯(13,14,15,16)の側部の変位

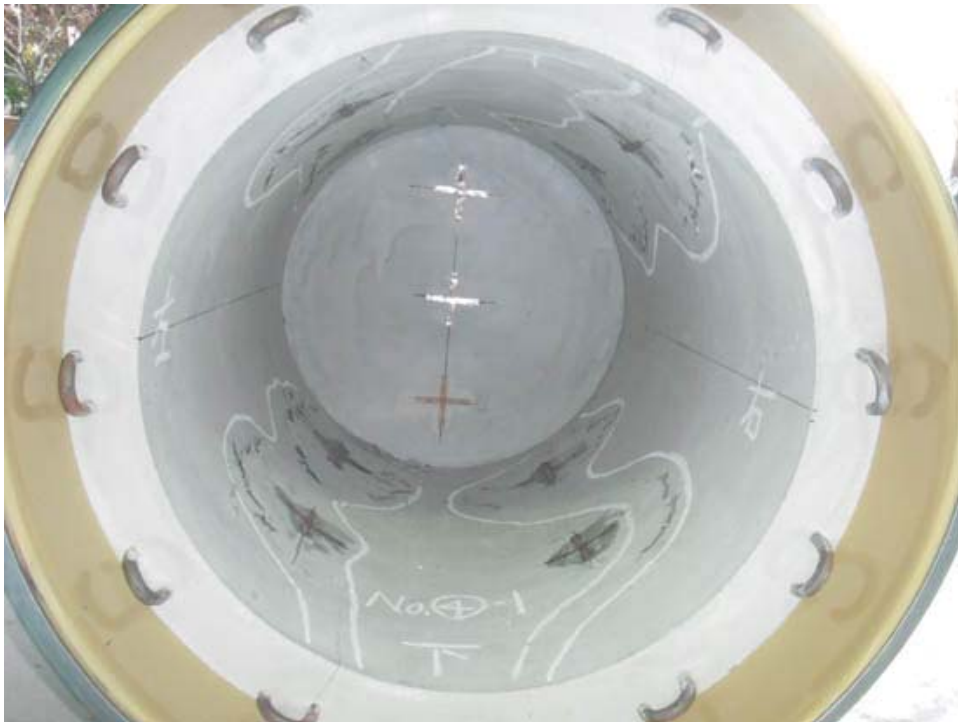


図 87 D50-50 (試験体No1)の裁荷後の変形の状況(1/2)

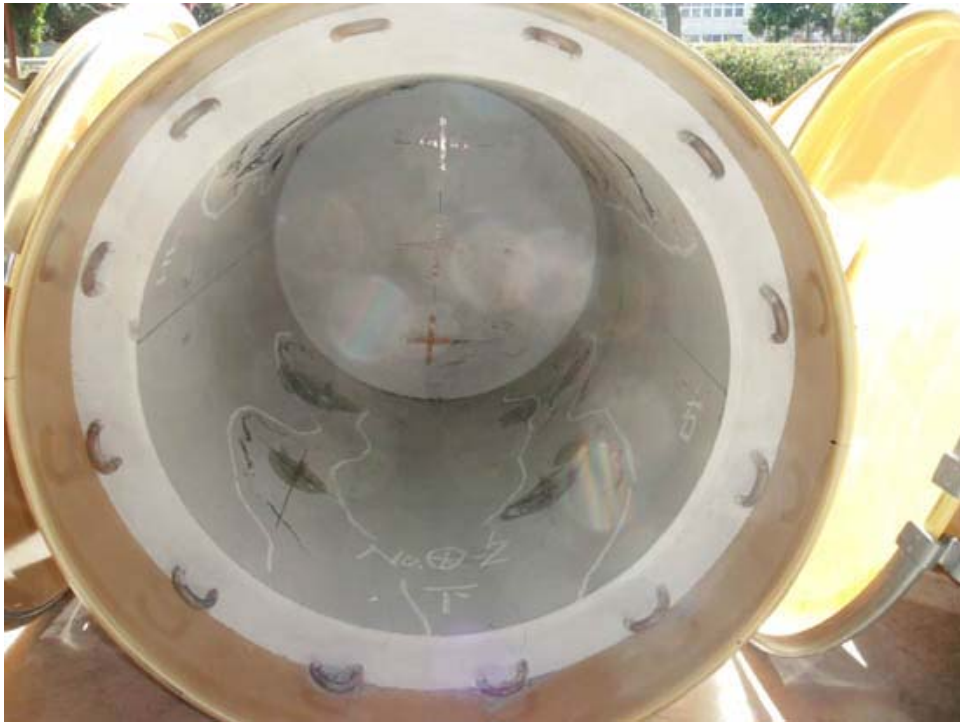


図 87 D50-50 (試験体No2)の裁荷後の変形の状況(2/2)

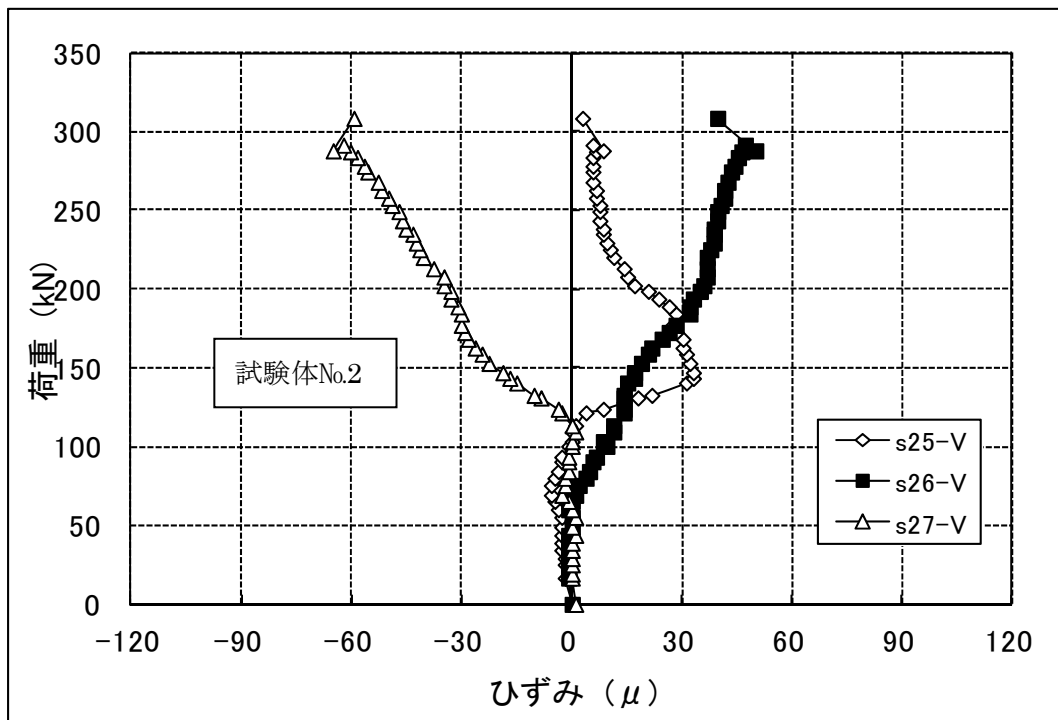
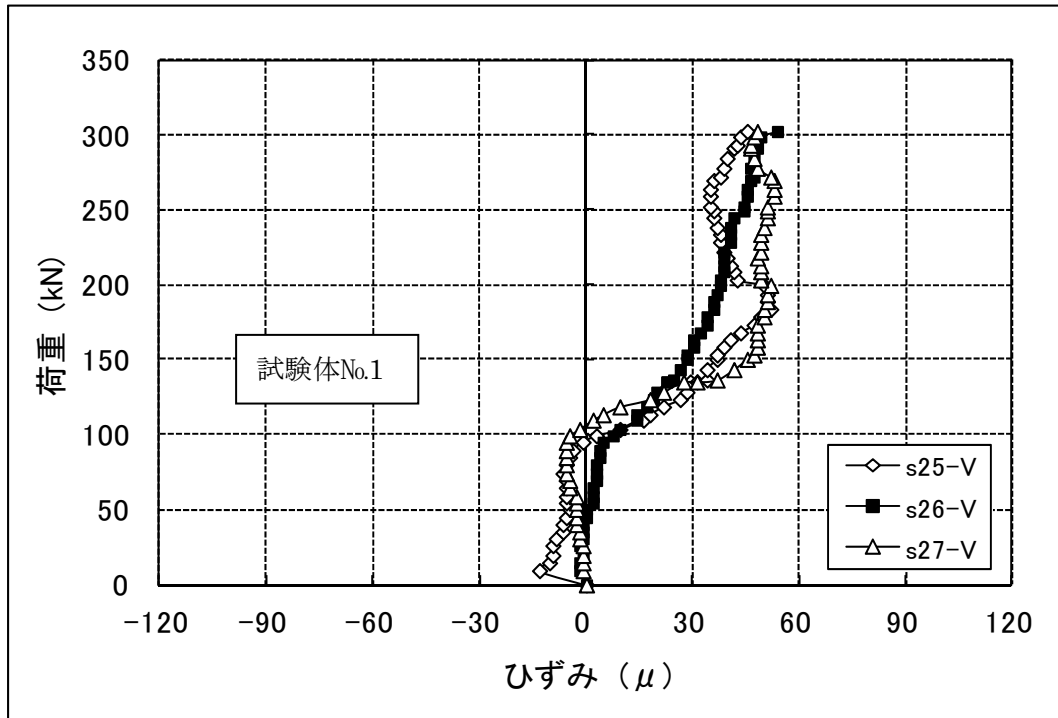


図 88 D50 -50 のチャイムの鉛直方向ひずみ

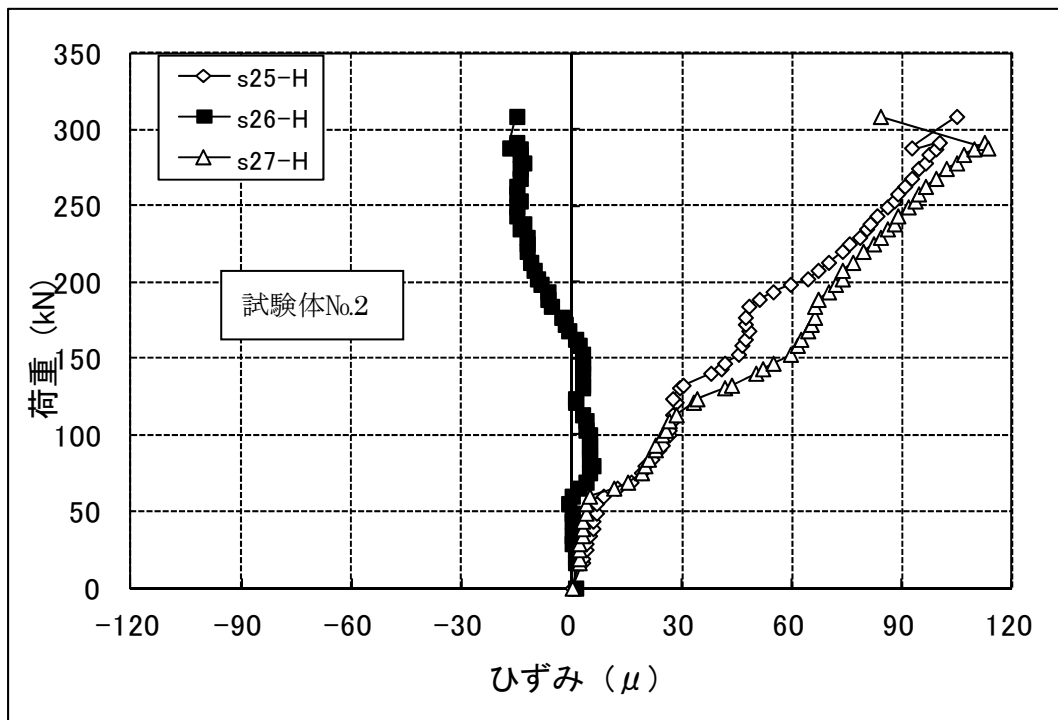
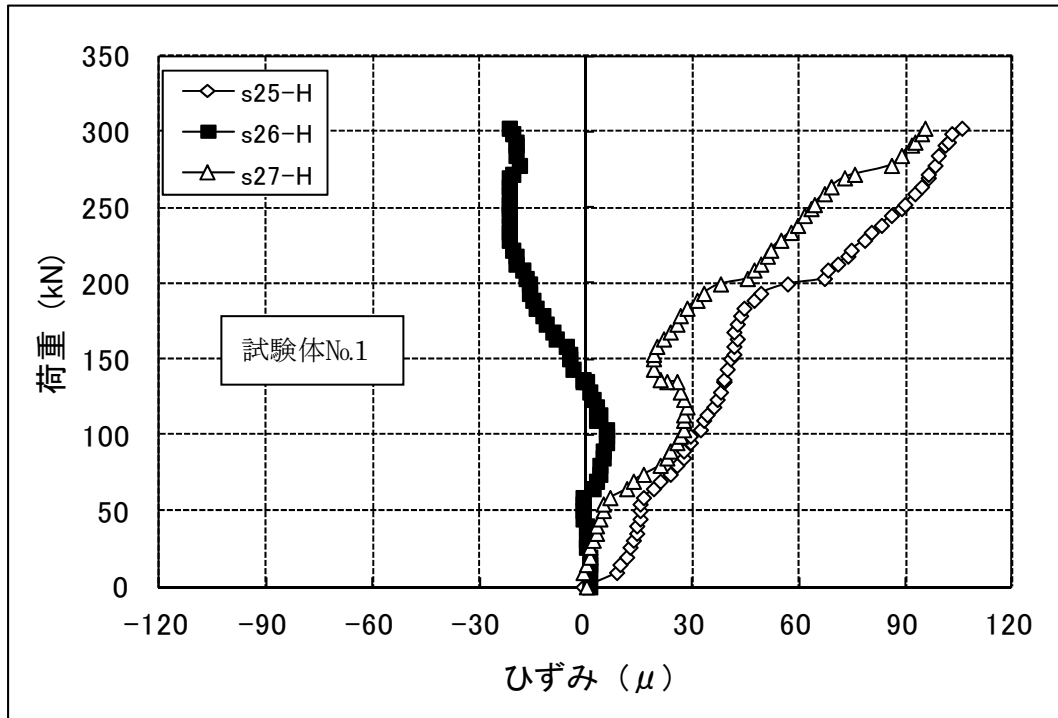


図 89 D50 -50 のチャイムの水平方向ひずみ

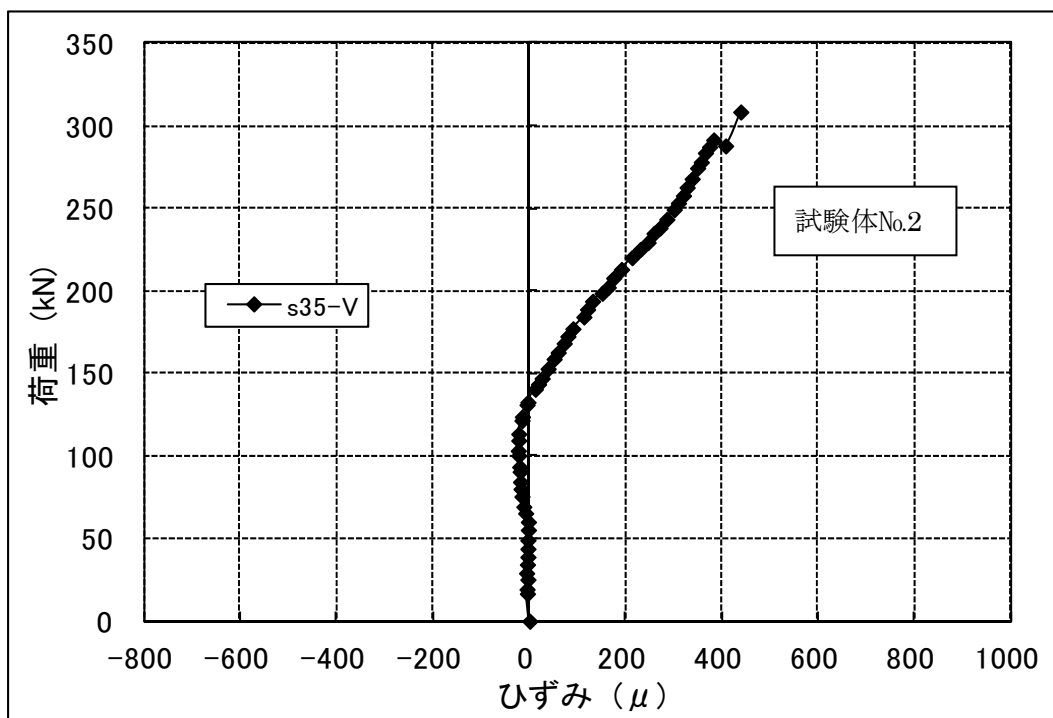
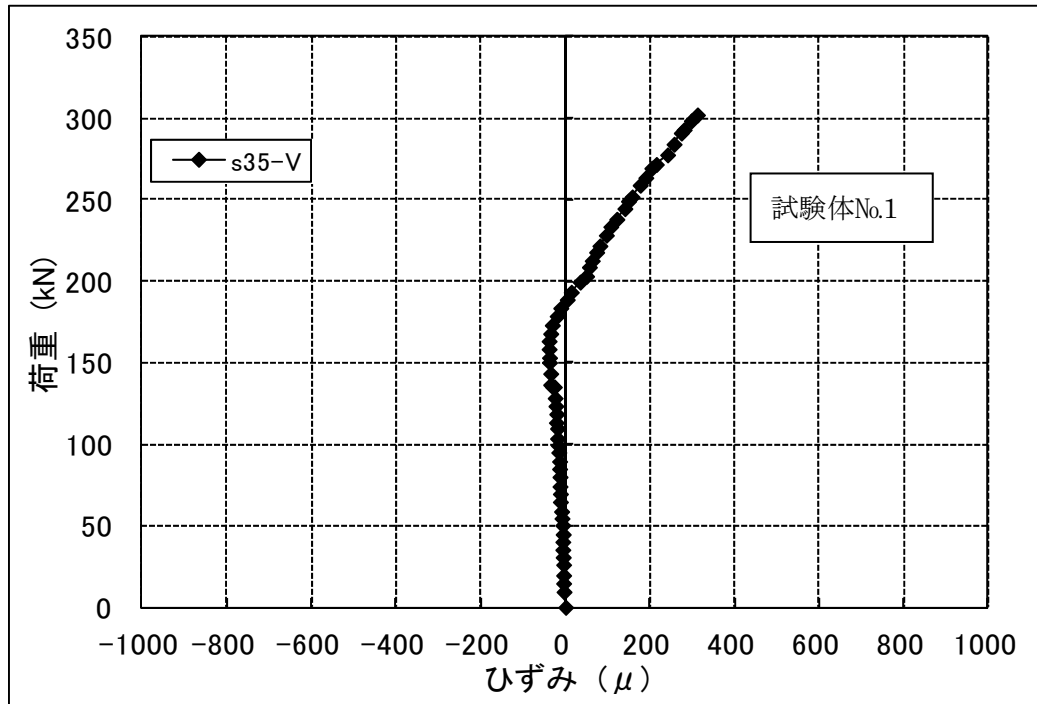


図 90 D50 -50 の蓋の鉛直方向ひずみ

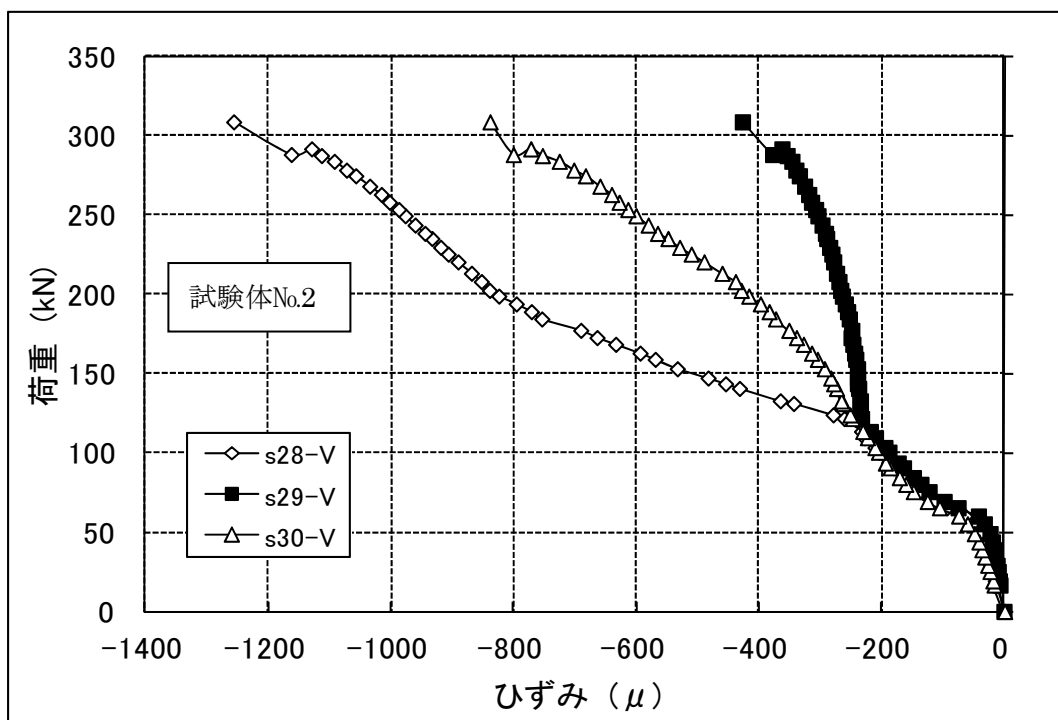
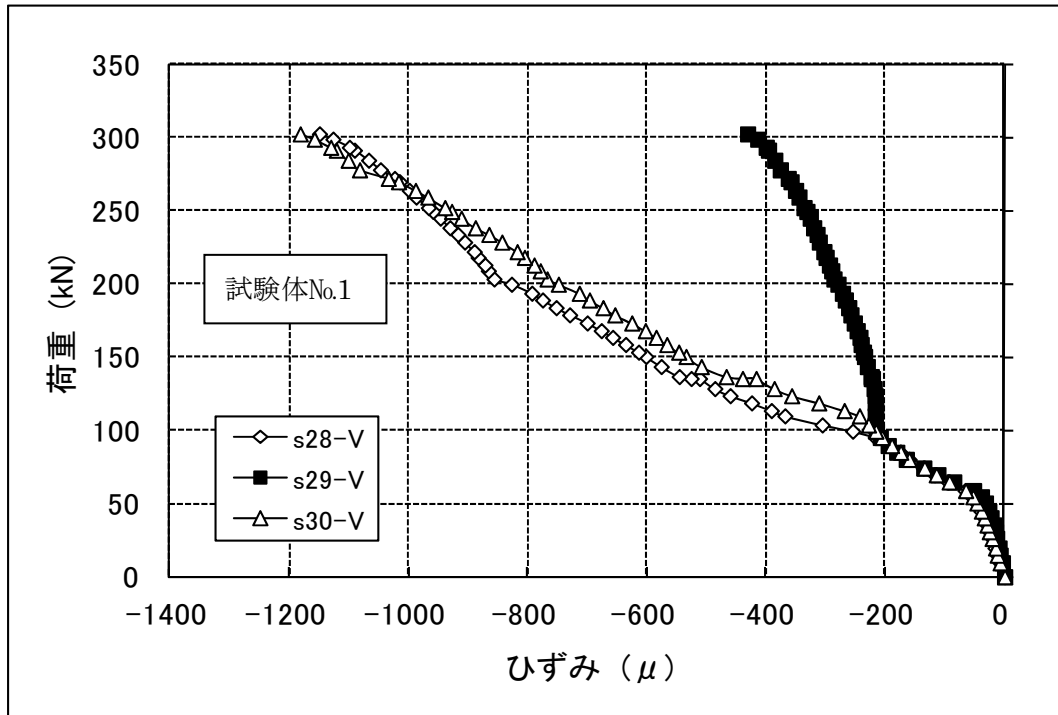


図 91 D50・50 のチャイム部の内貼りコンクリートの鉛直ひずみ

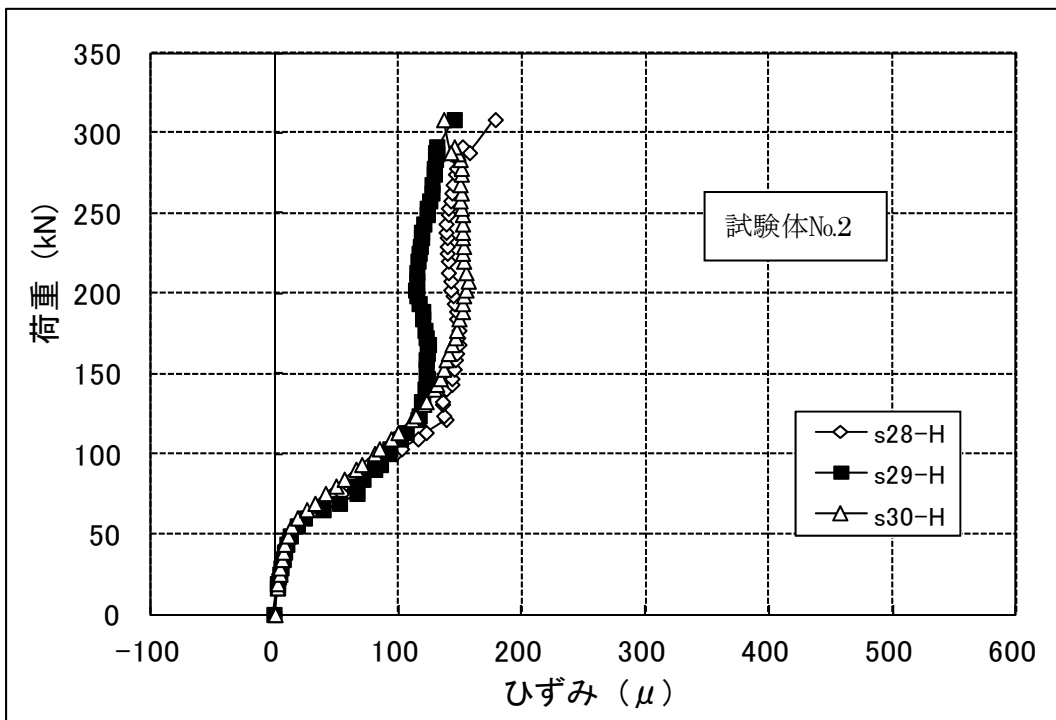
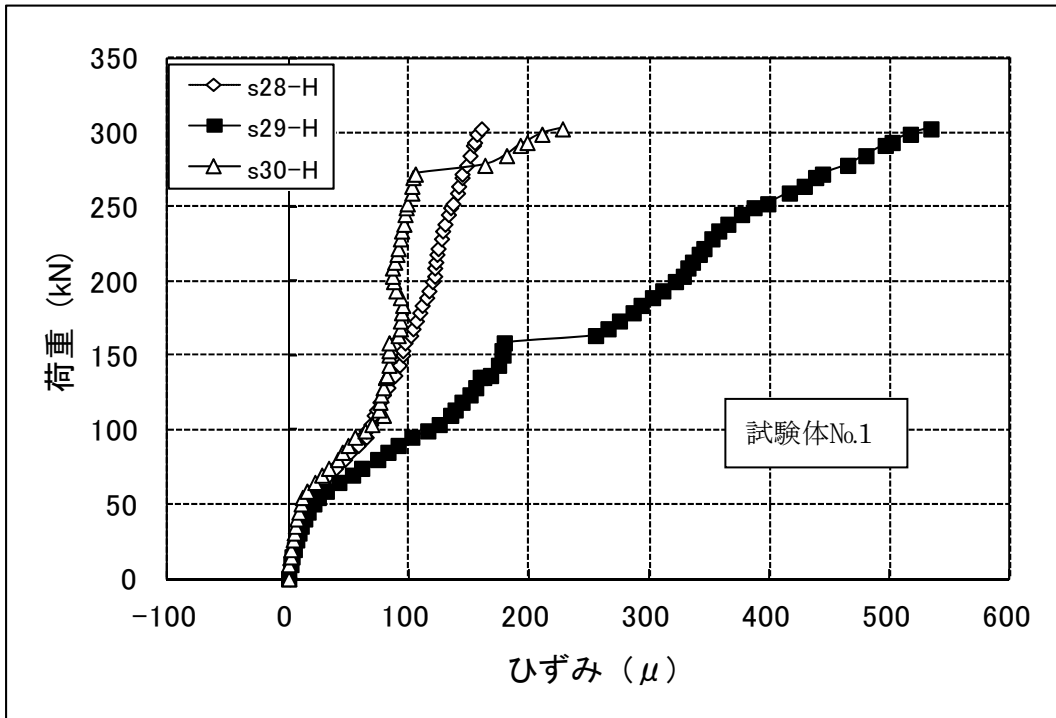


図 92 D50・50 のチャイム部の内貼りコンクリートの水平ひずみ

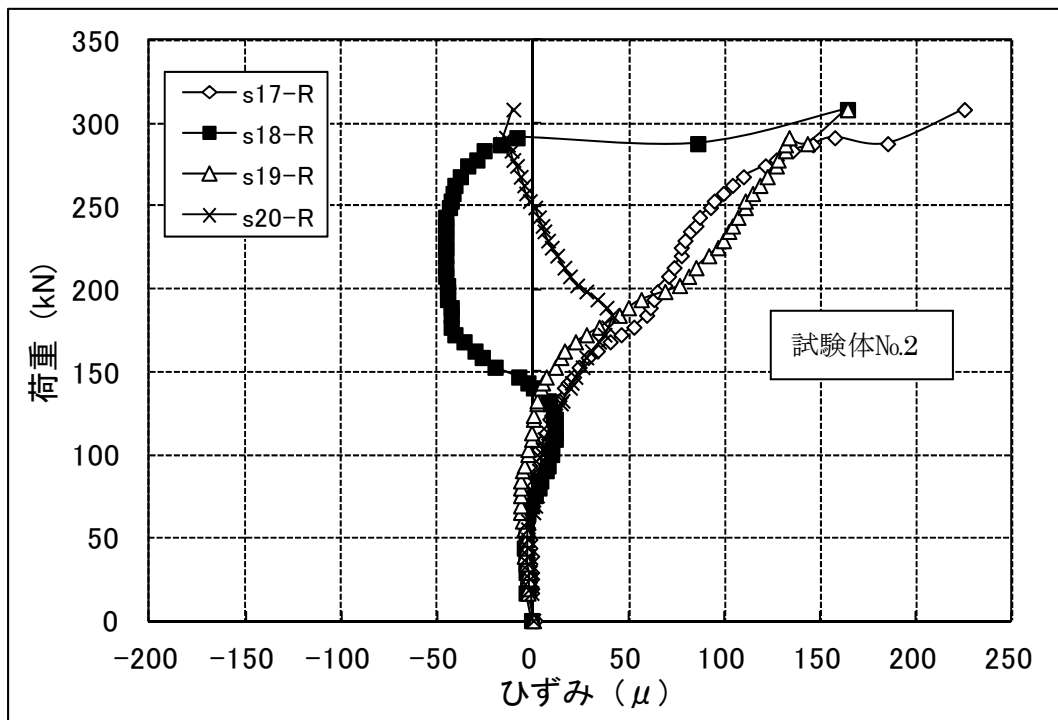
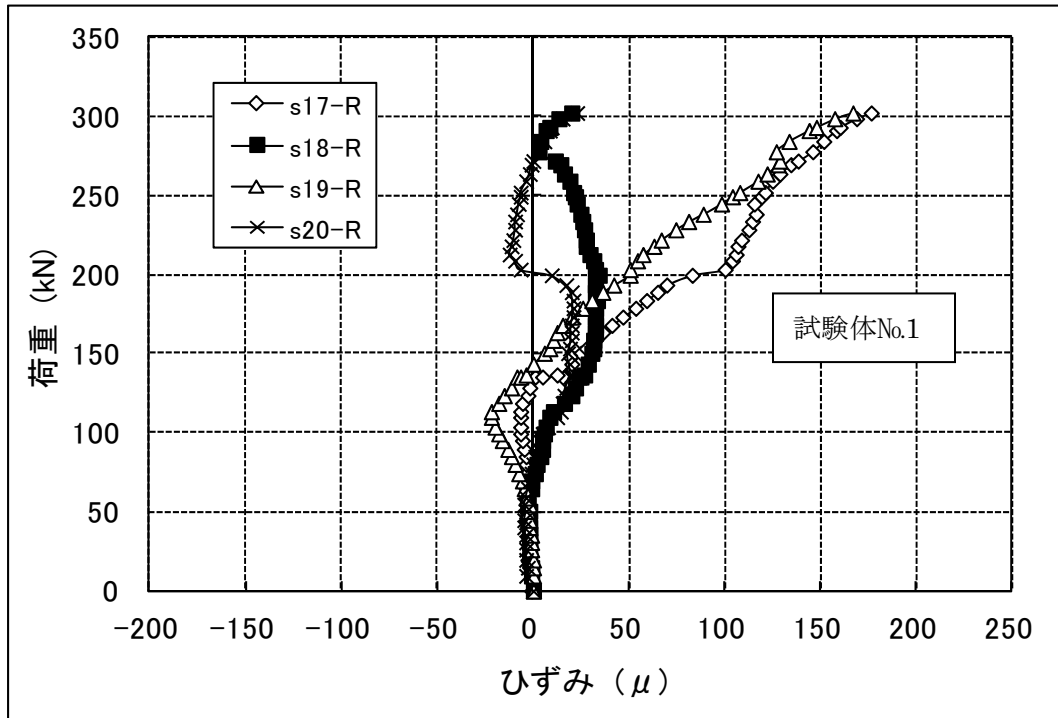


図 93 D50 -50 のチャイム部淵周の円周方向ひずみ

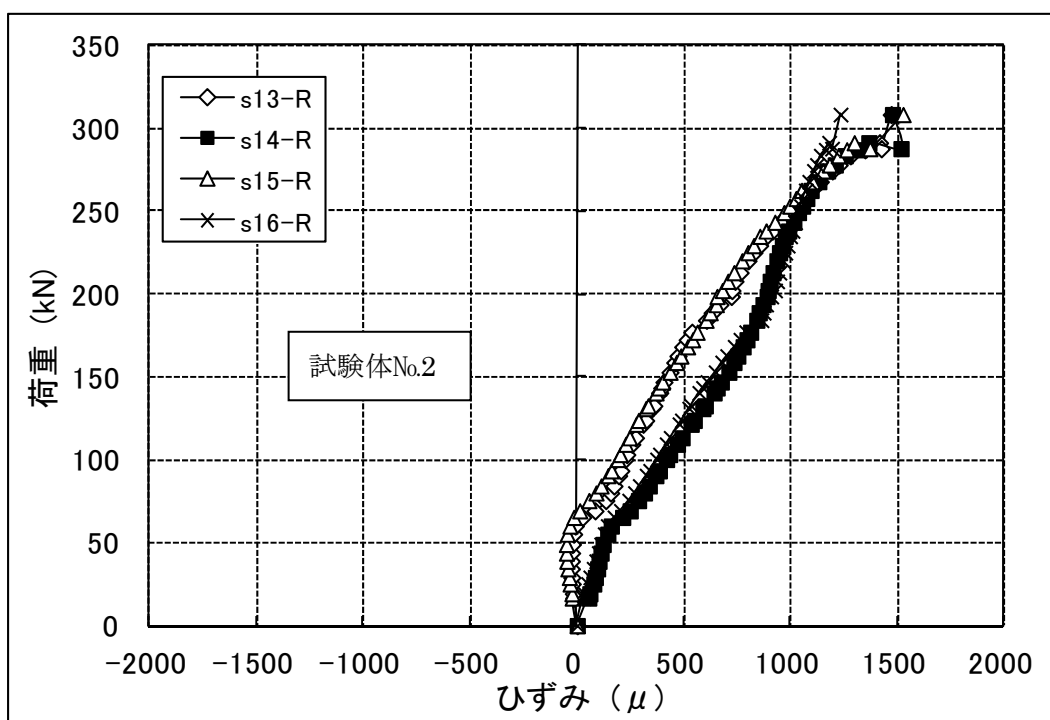
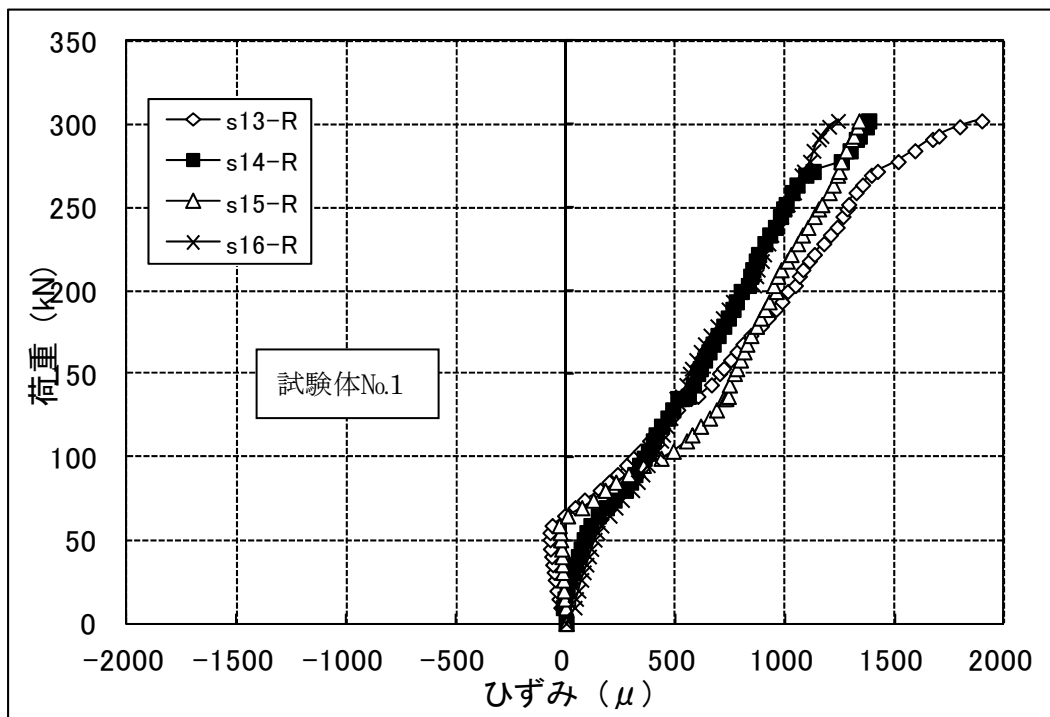


図 94 D50-50 の第 1 輪帯の円周方向ひずみ

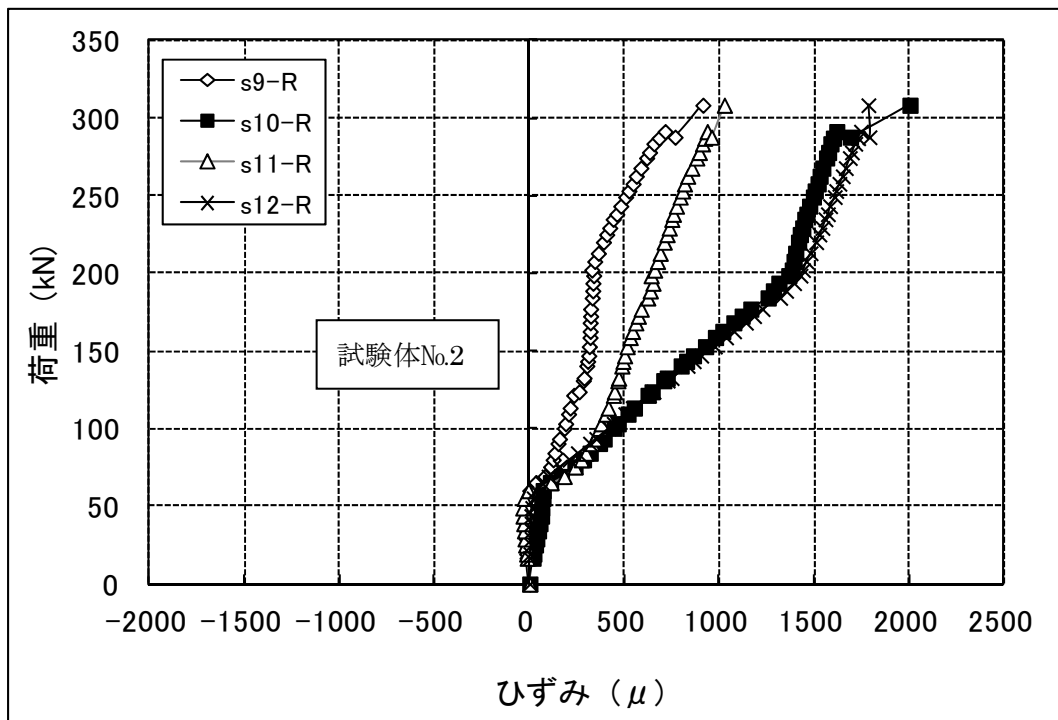
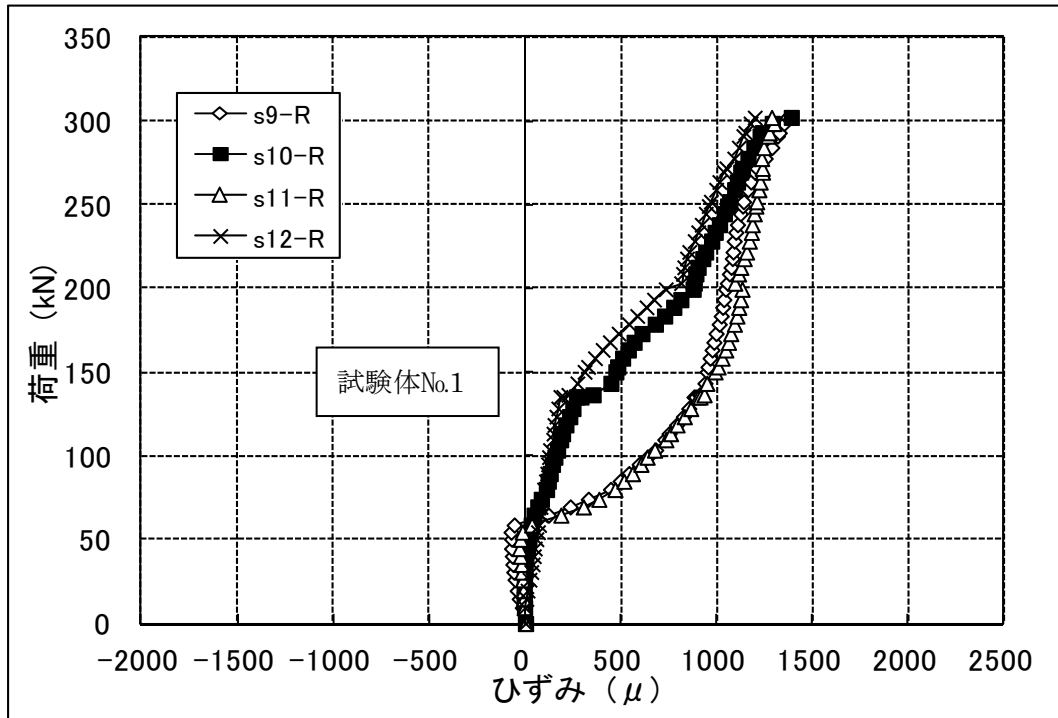


図 95 D50-50 の第 2 輪帯の円周方向ひずみ

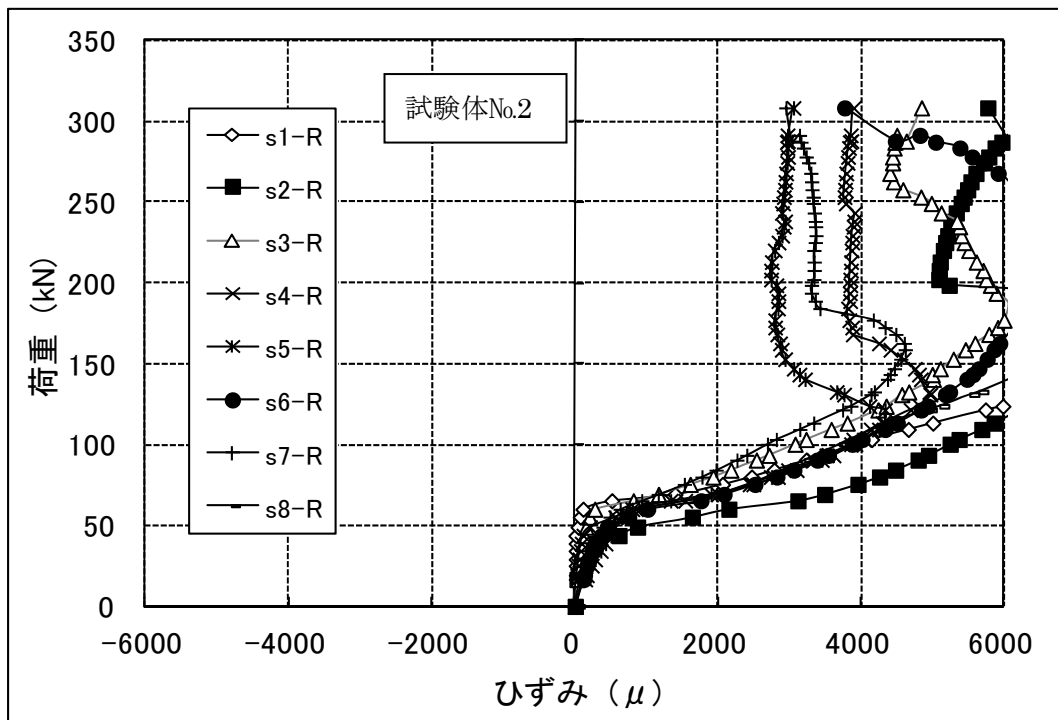
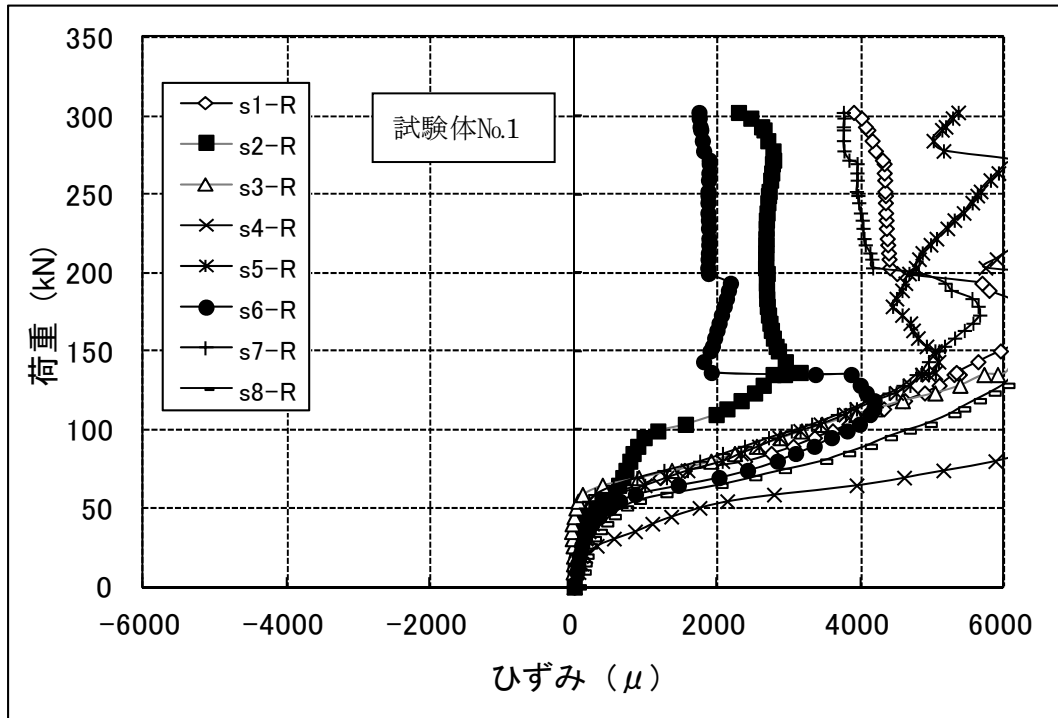


図 96 D50-50 の治具接触点の円周方向ひずみ

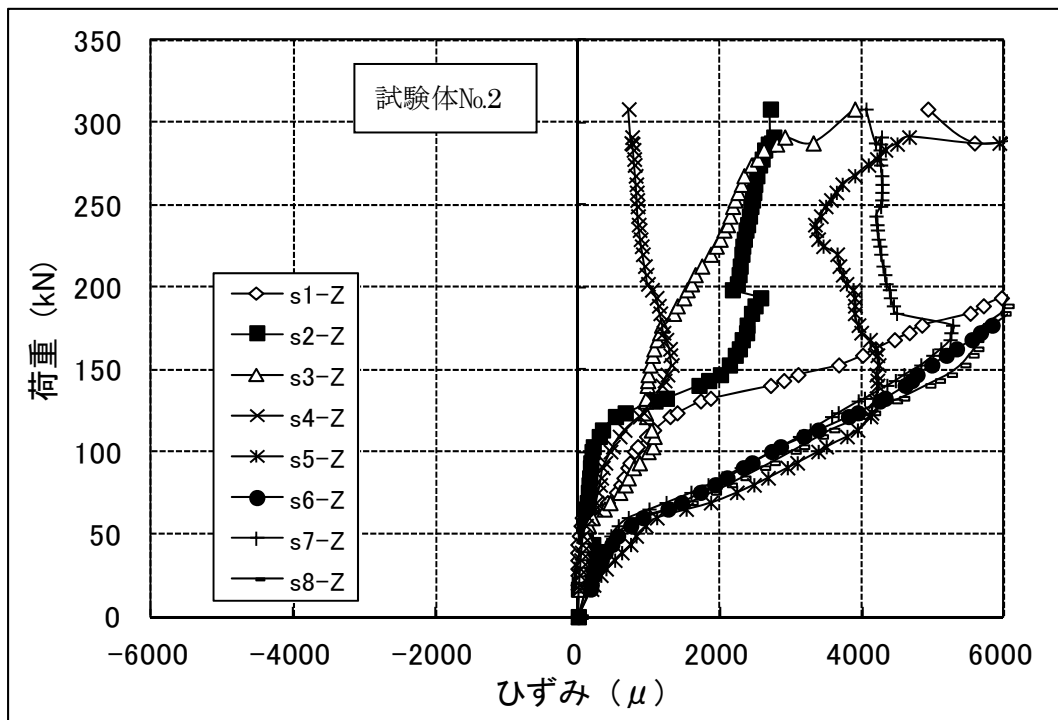
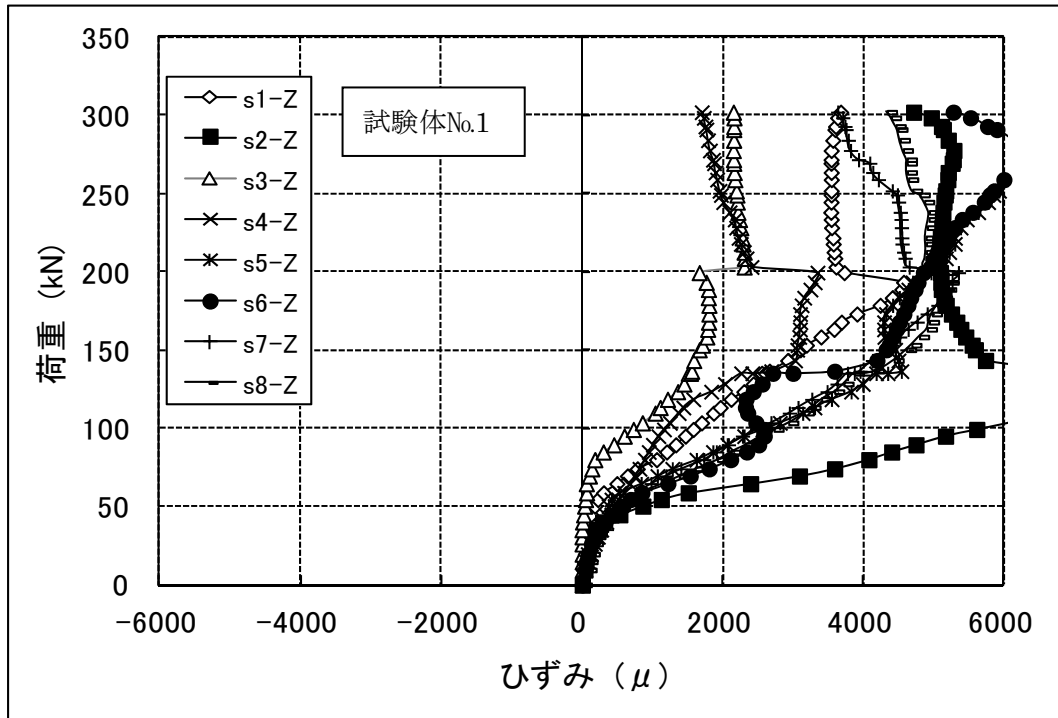


図 97 D50・50 の治具接触点の軸方向ひずみ

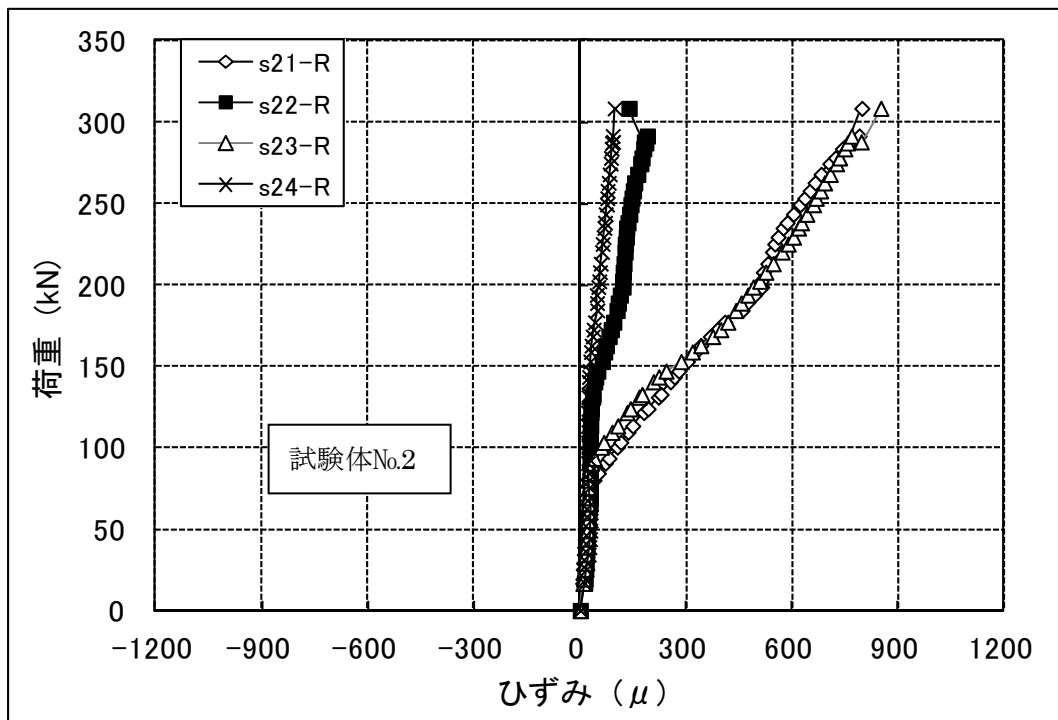
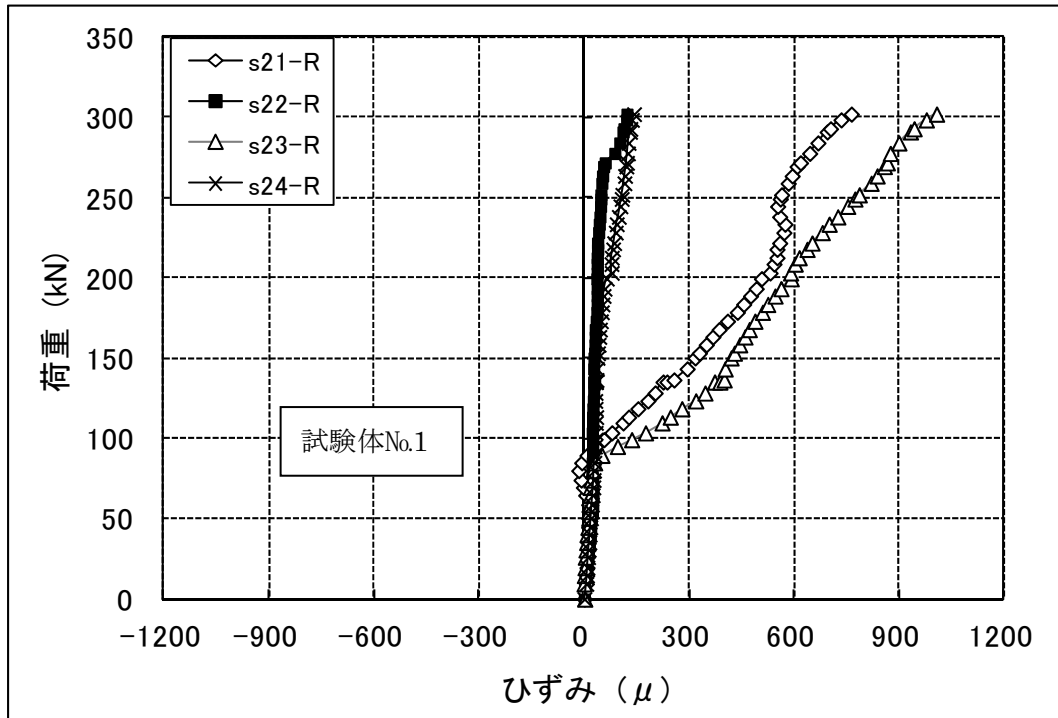


図 98 D50 -50 の治具接触点におけるドラム缶側面の円周方向ひずみ

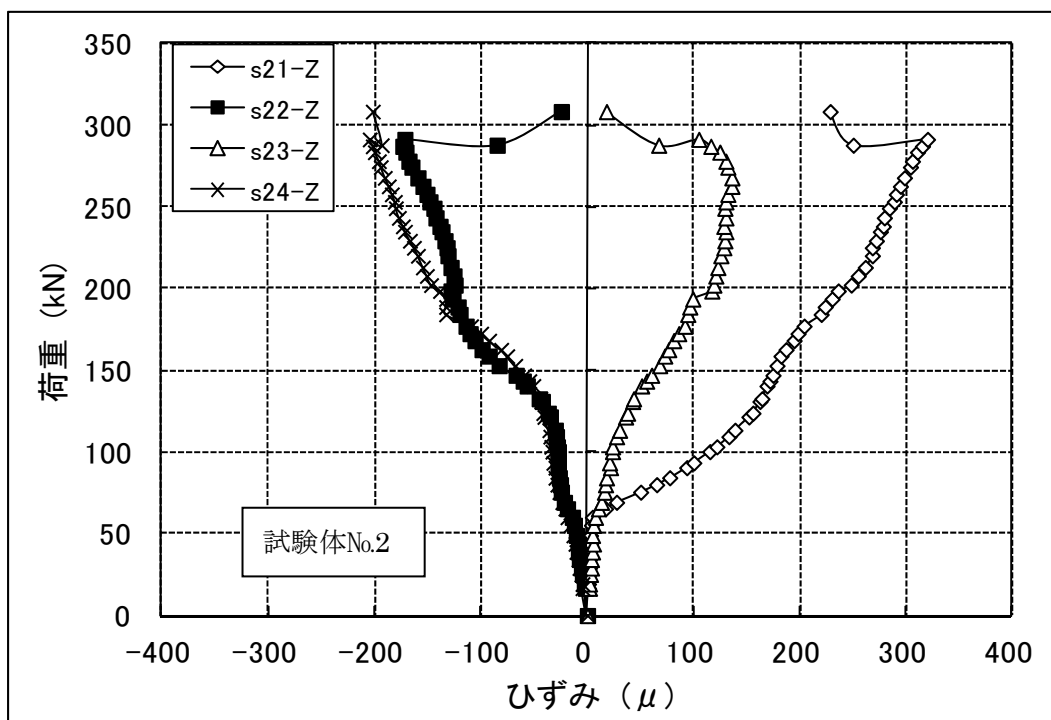
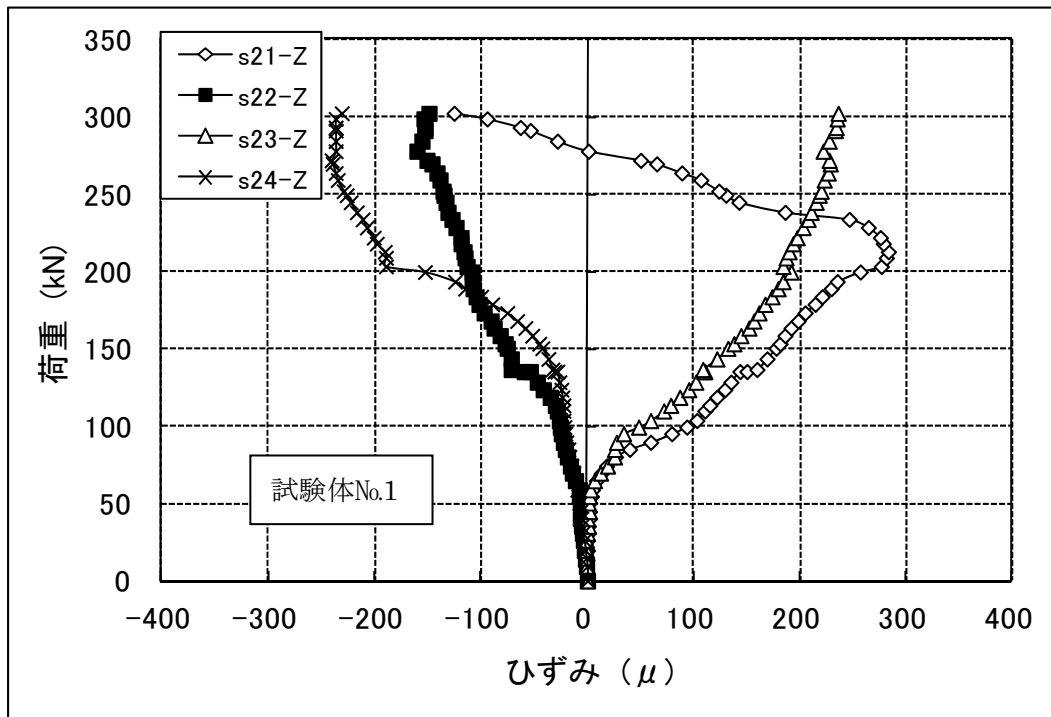


図 99 D50 -50 の治具接触点におけるドラム缶側面の円周方向ひずみ

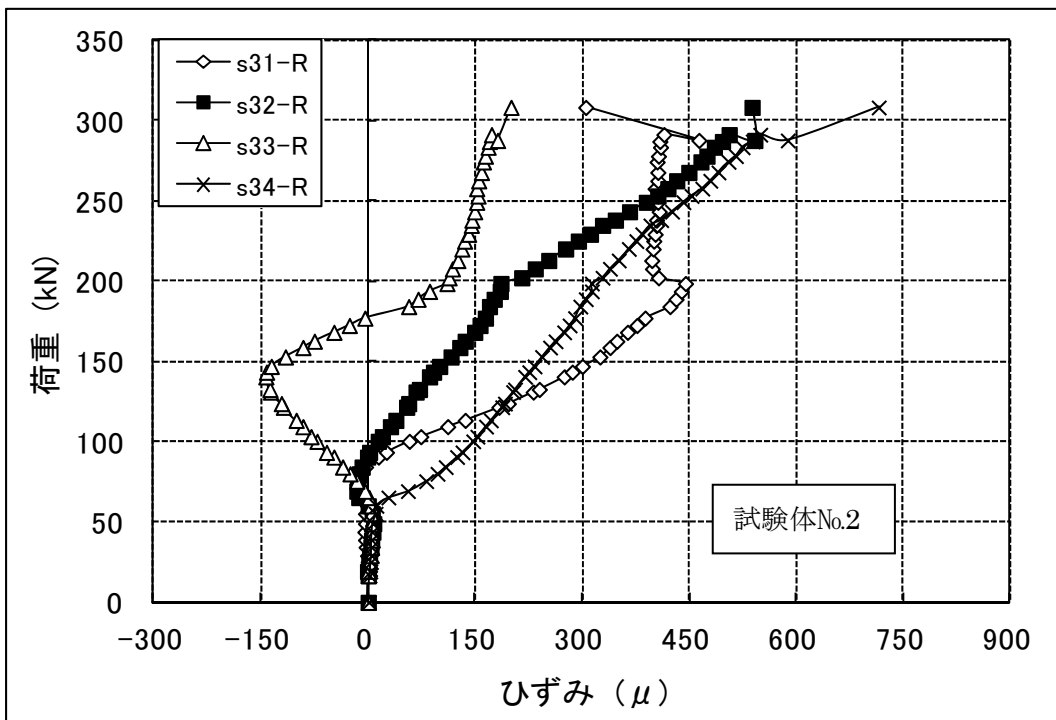
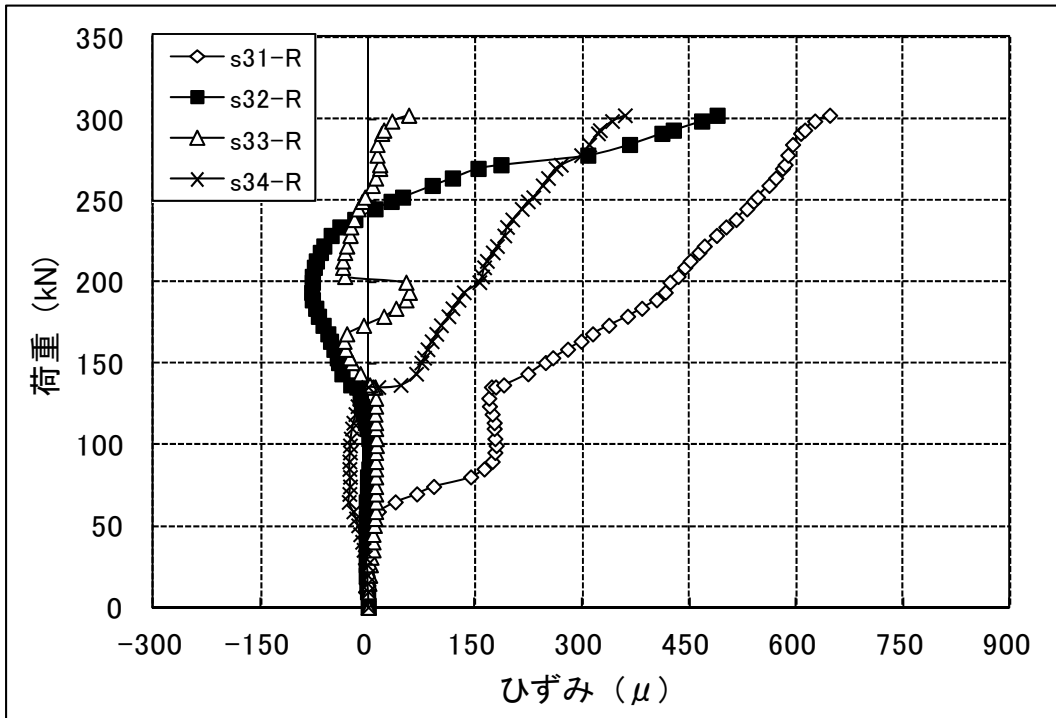


図 100 D50・50 の蓋付近における円周方向ひずみ

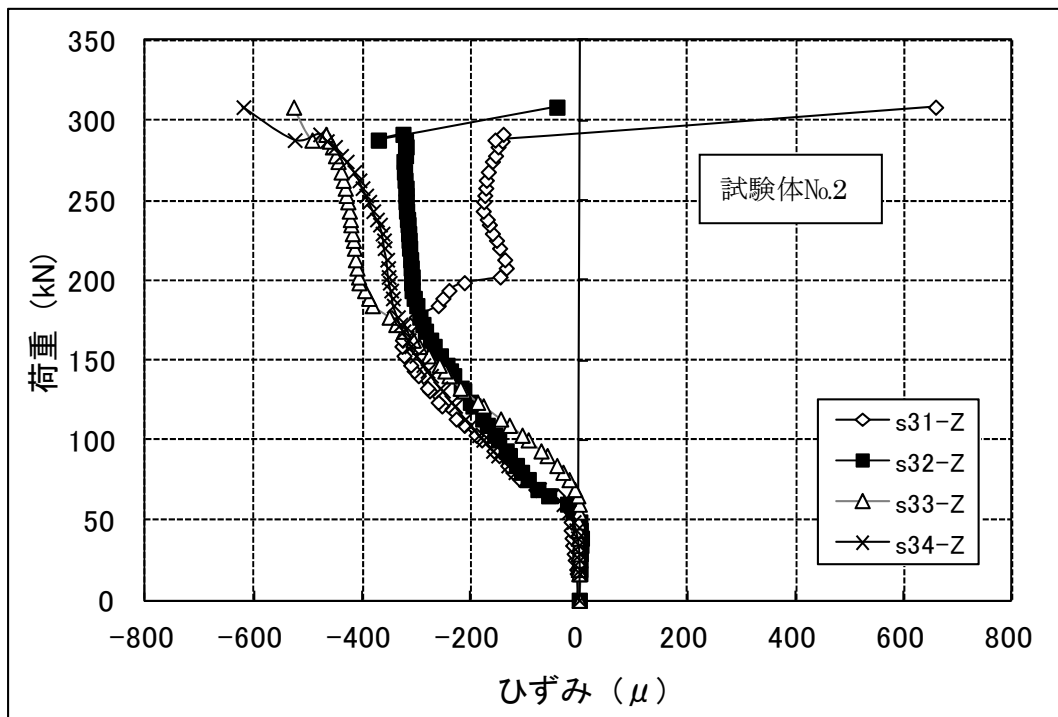
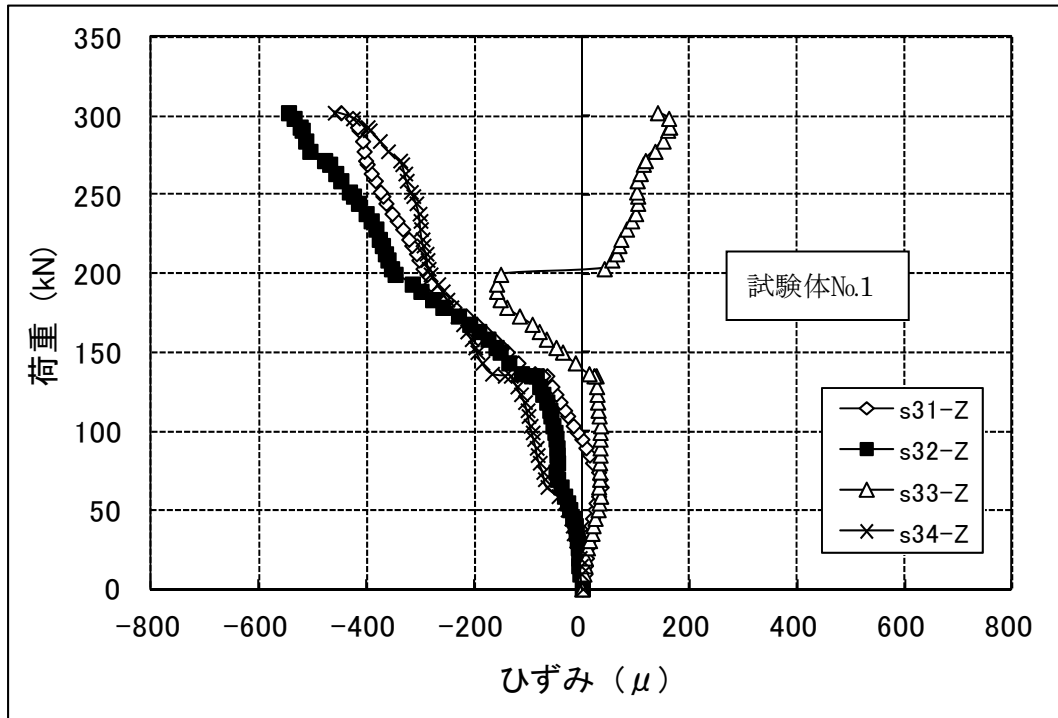


図 101 D50-50 の蓋付近における軸方向ひずみ

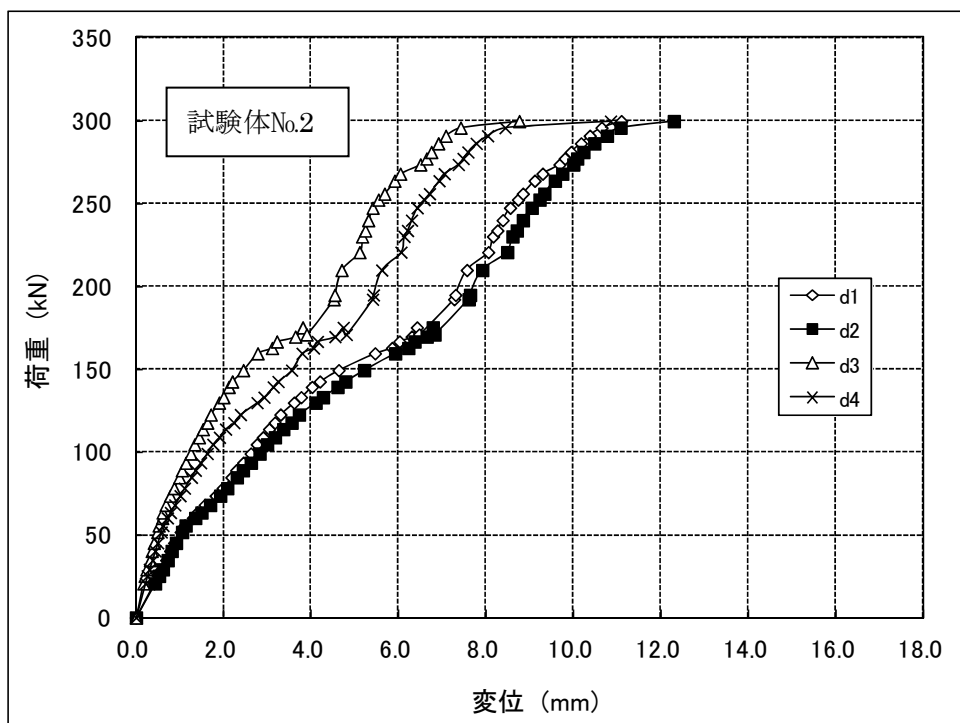
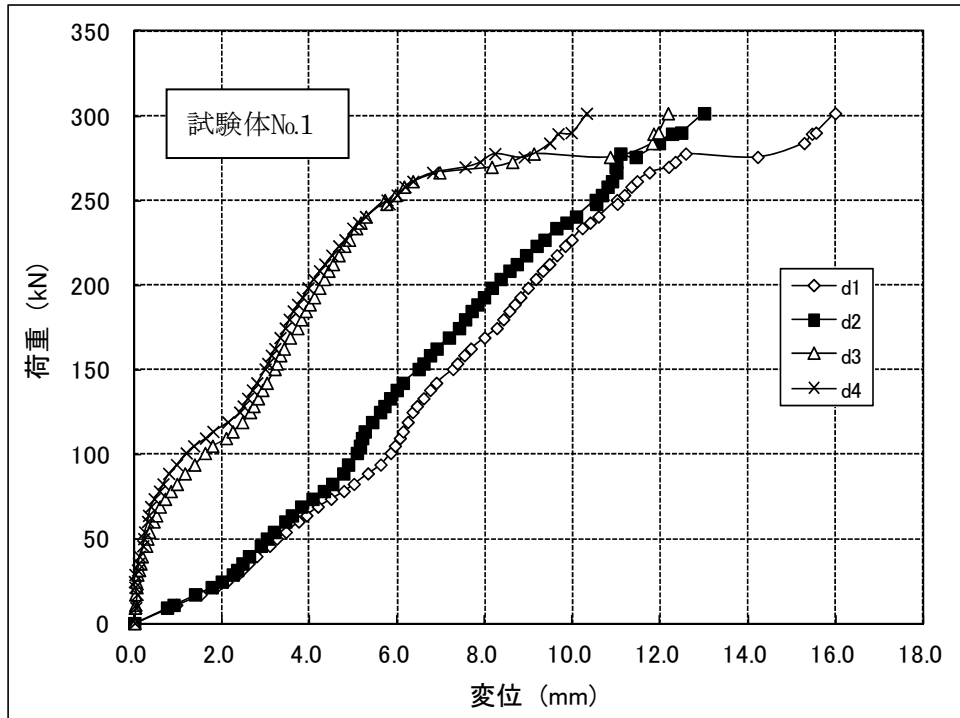


図 102 D-50-75 の鉛直変位

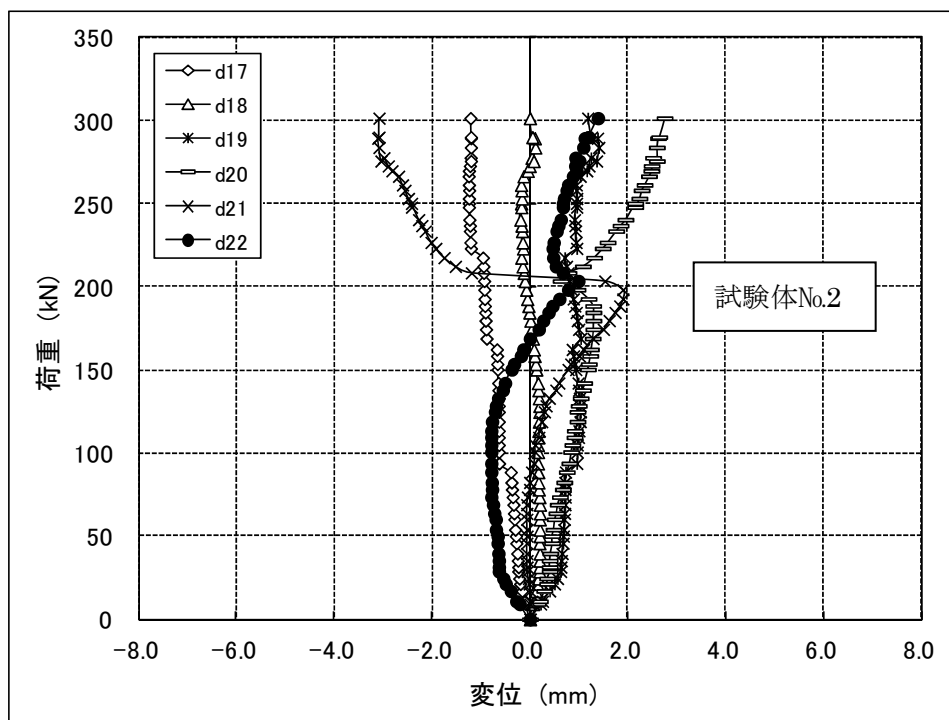
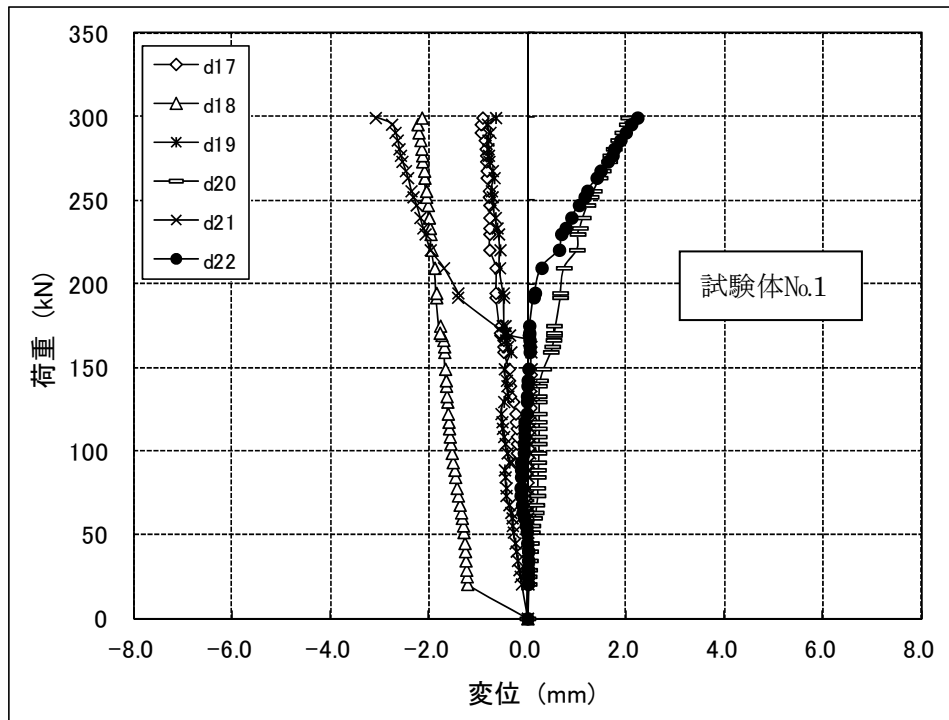


図 103 D-50-75 のチャイム(17, 18, 19)及び蓋(20, 21, 22)の変位

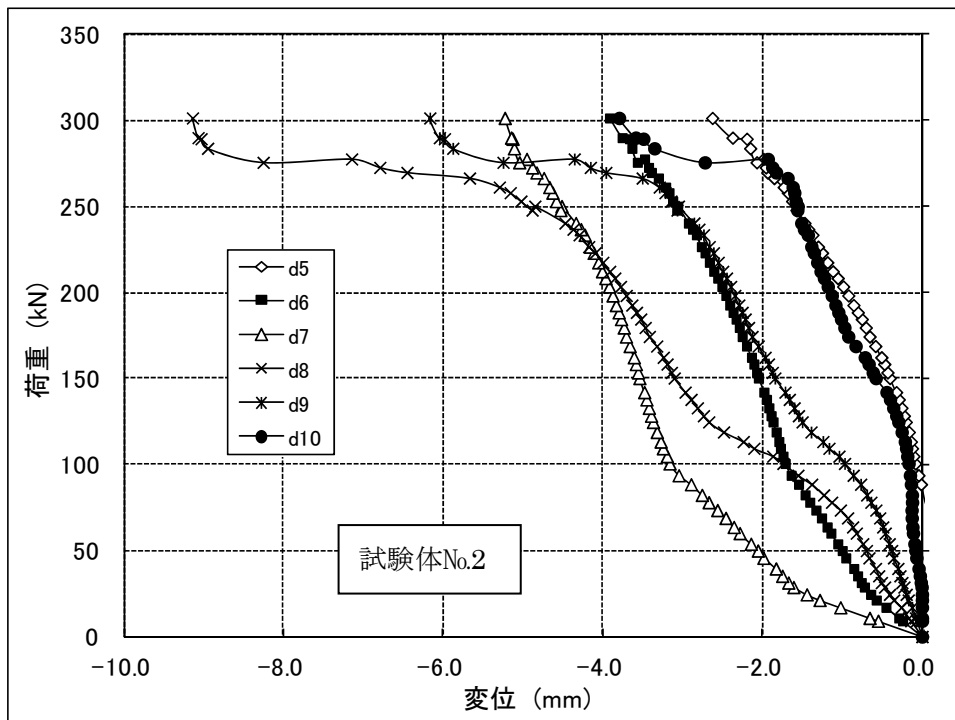
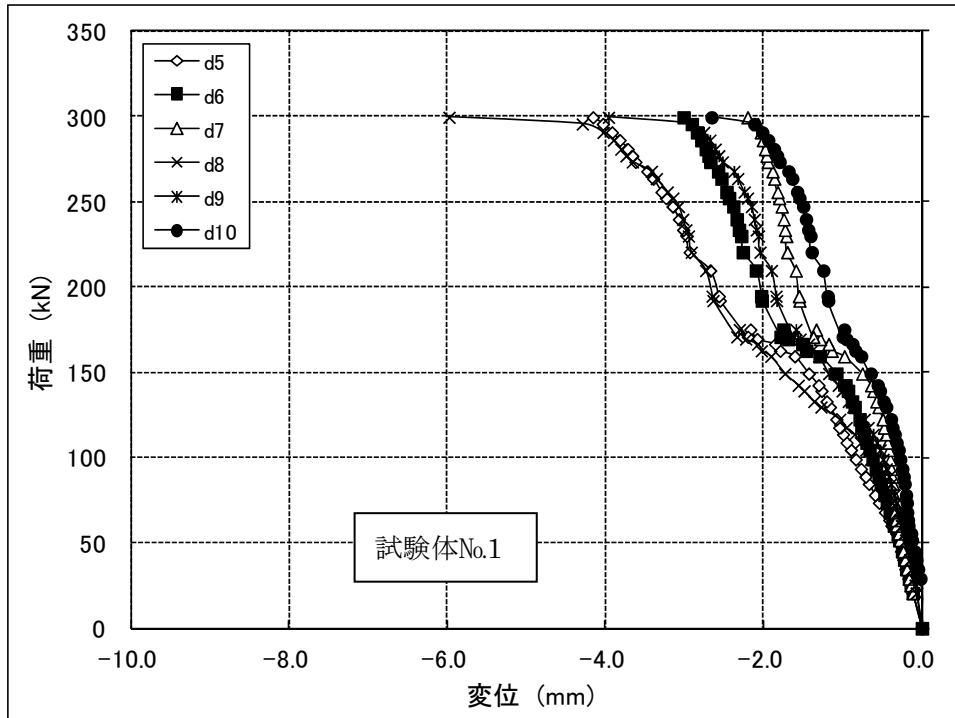


図 104 D-50-75 のチャイム部淵周(5, 8)及び輪帯(6, 7, 9, 10)の上下部の変位

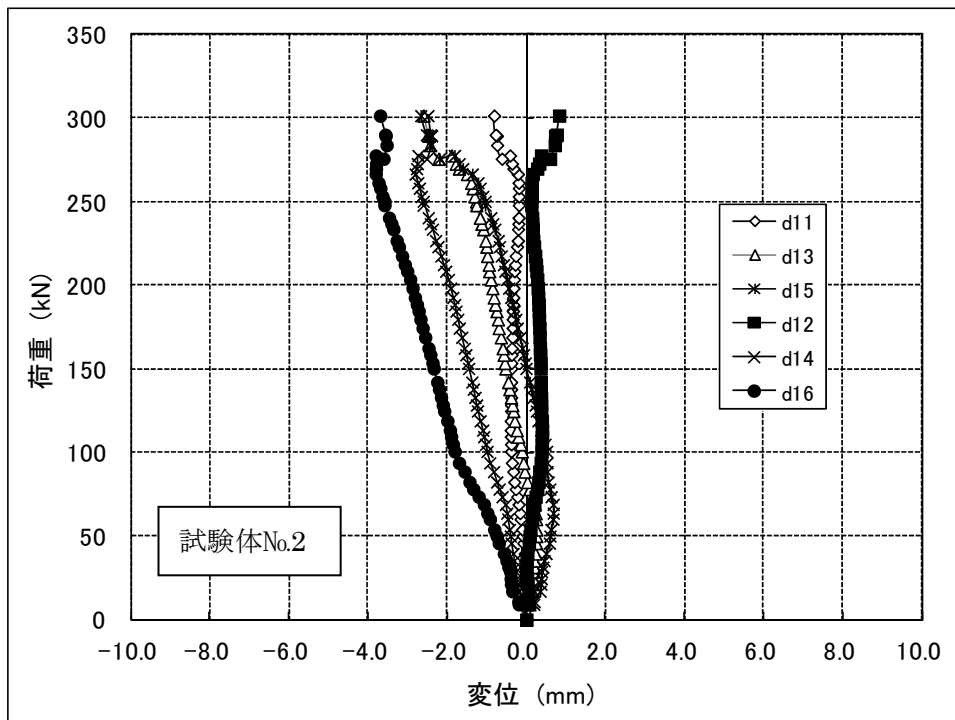
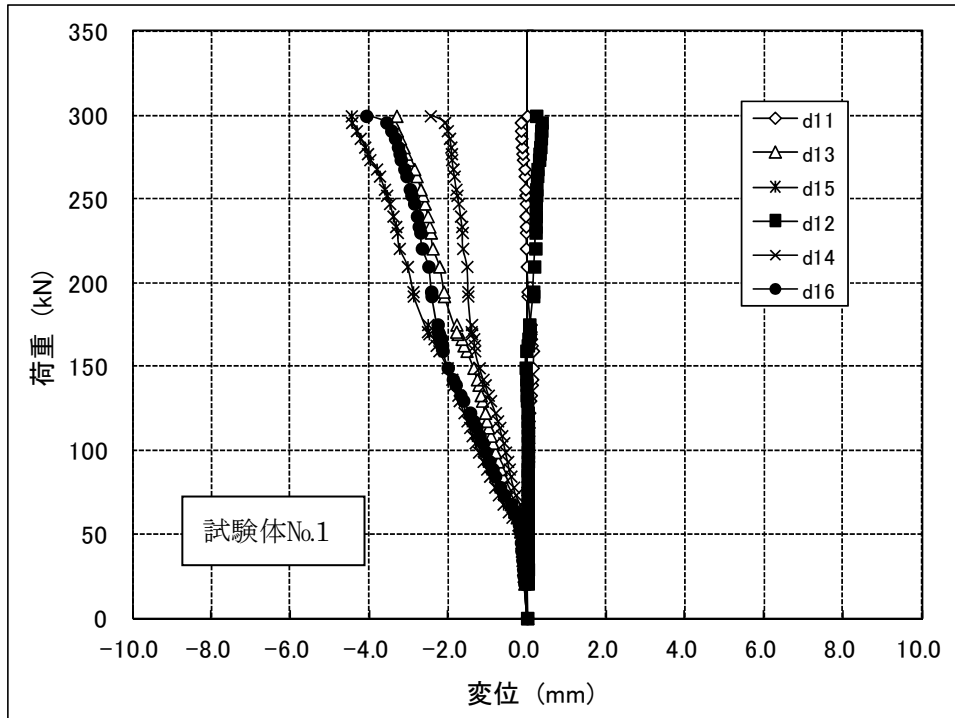


図 105 D-50-75 のチャイム部淵周(11, 12)及び輪帯(13, 14, 15, 16)の側部の変位



図 106 D-50-75(試験体No.1)の裁荷後の変形の状況(1/2)



図 106 D-50-75(試験体No.2)の裁荷後の変形の状況(2/2)

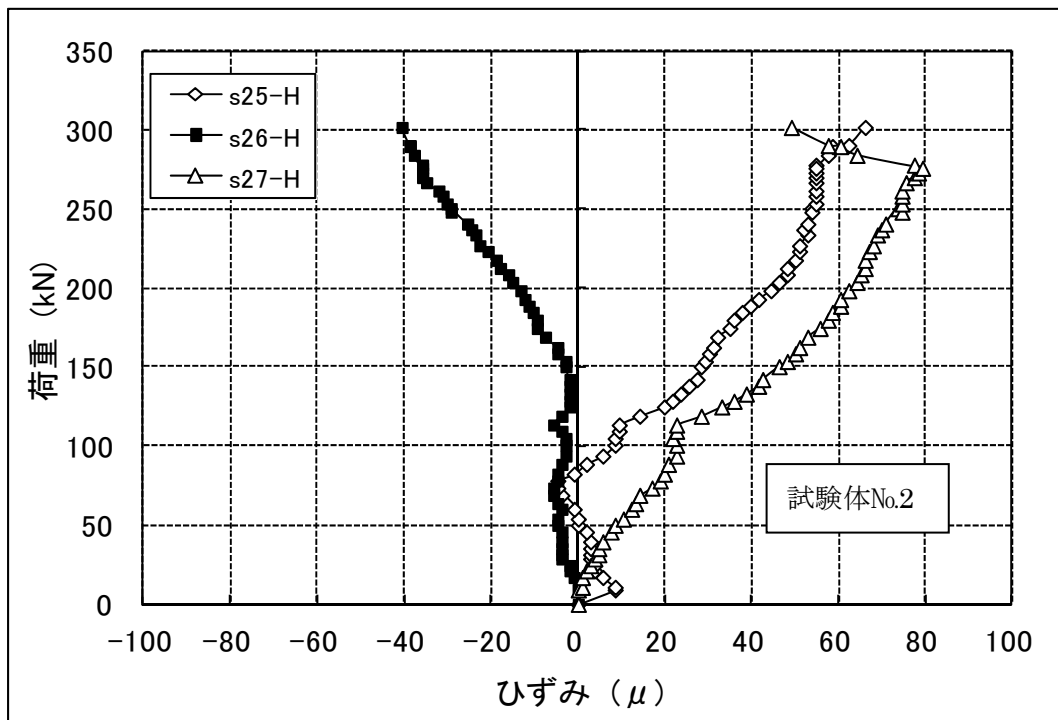
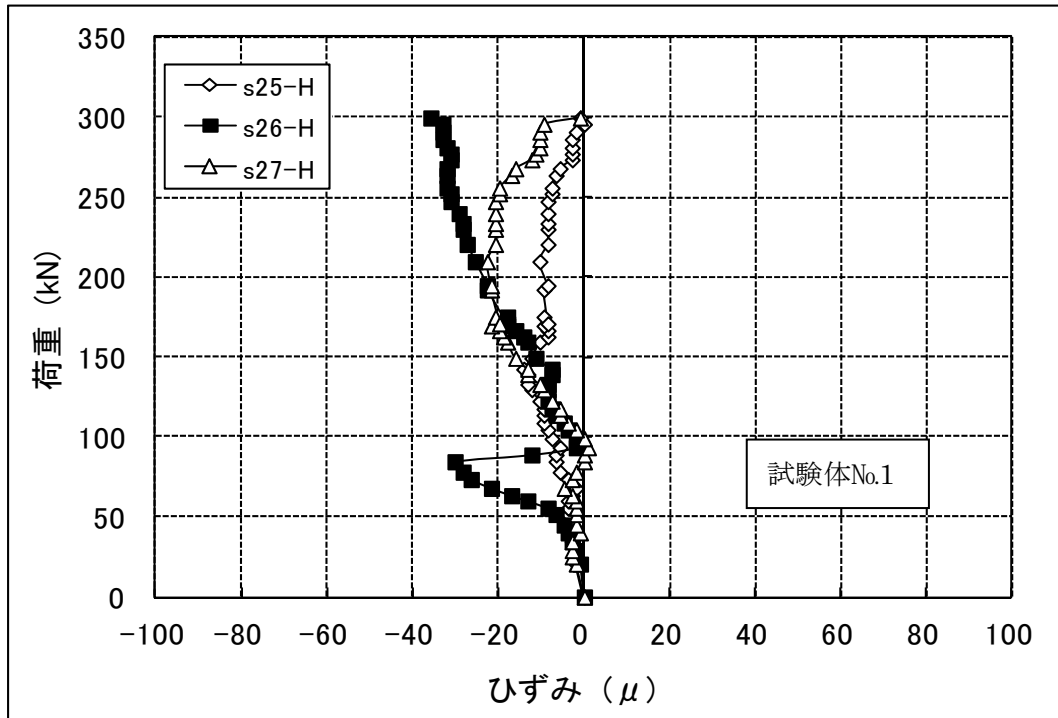


図 107 D-50-75 のチャイムの水平方向ひずみ

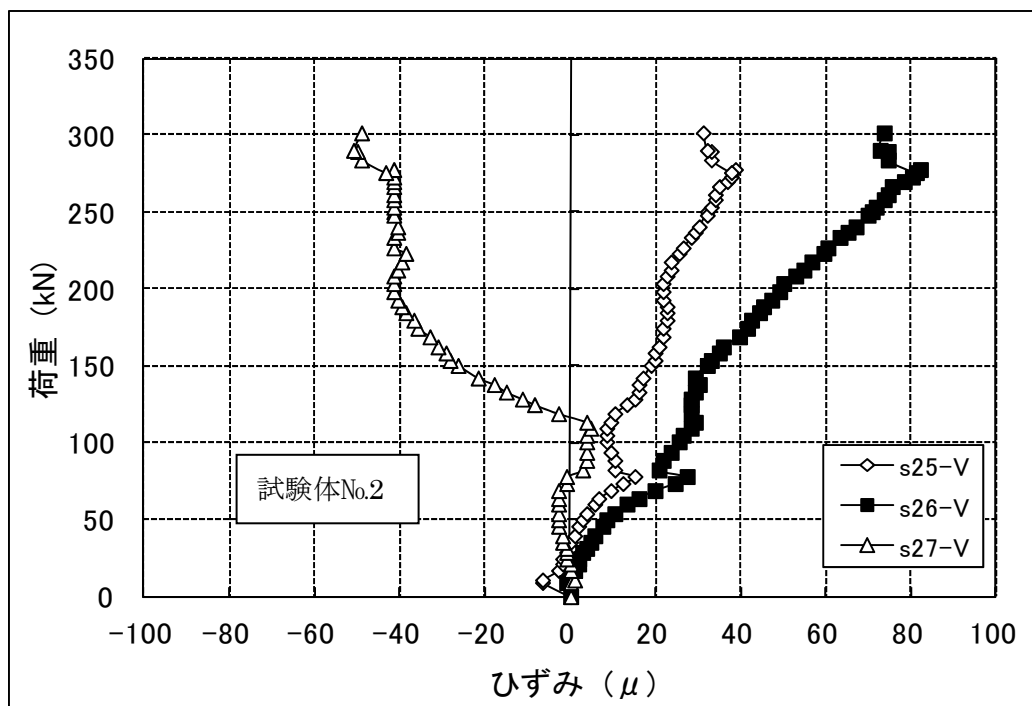
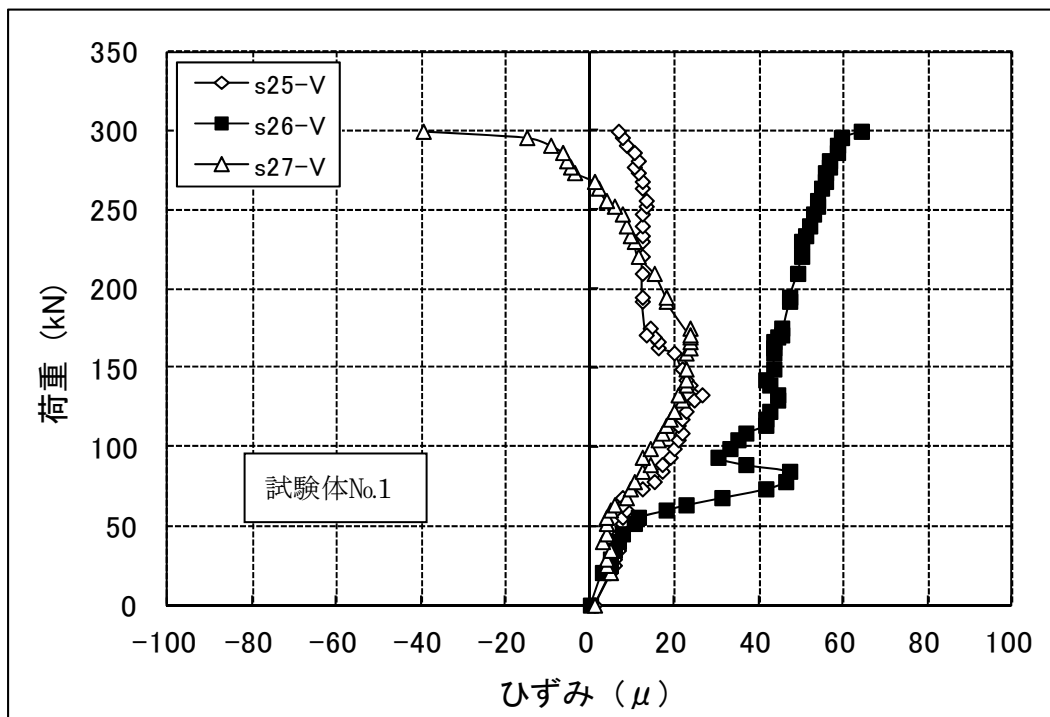


図 108 D-50-75 のチャイムの鉛直方向ひずみ

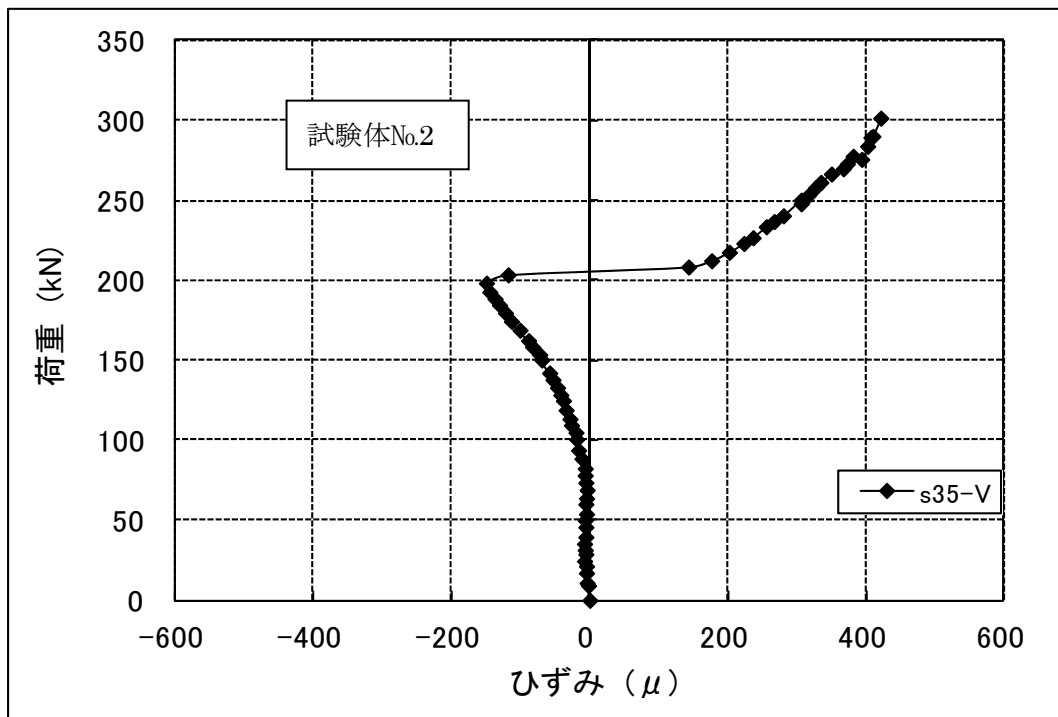
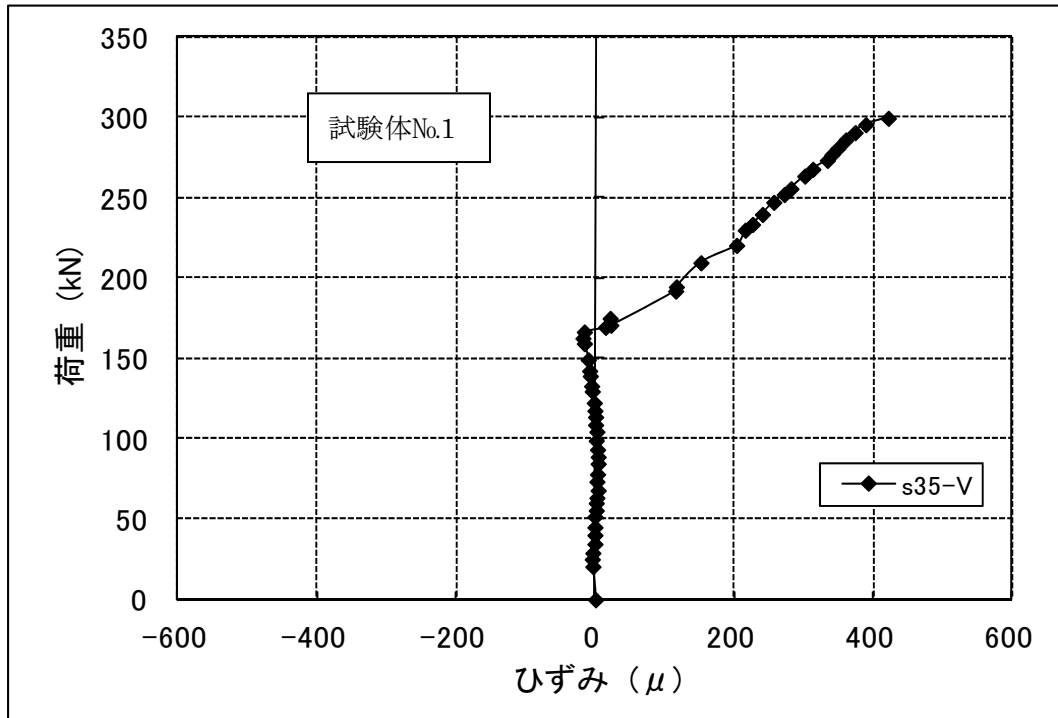


図 109 D50-75 の蓋の鉛直方向ひずみ

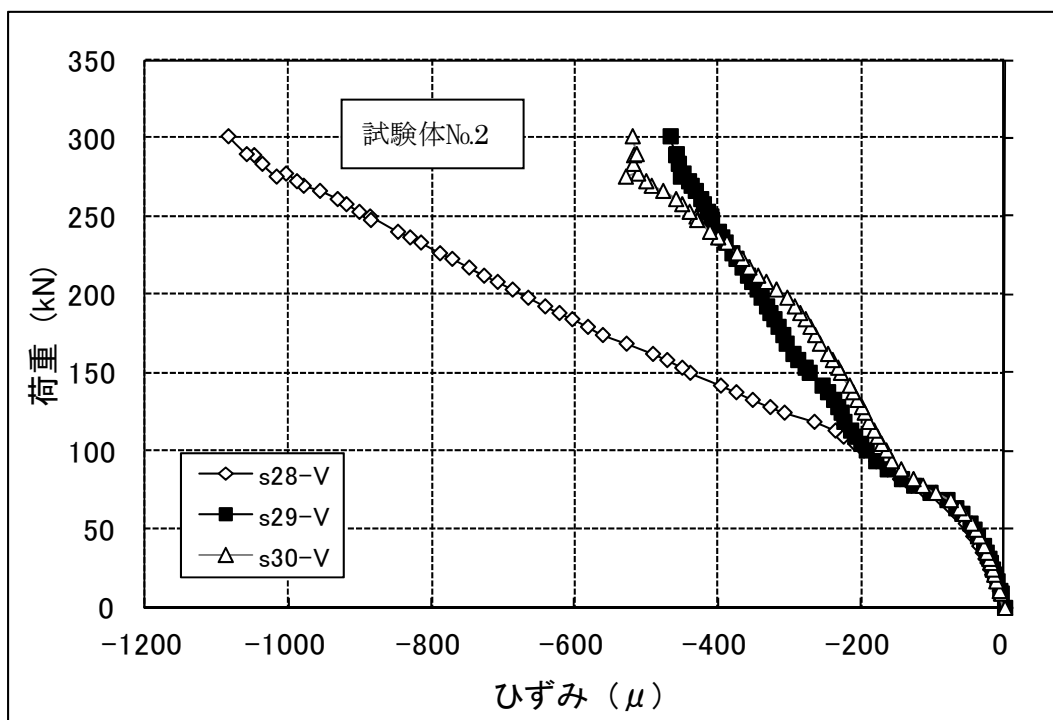
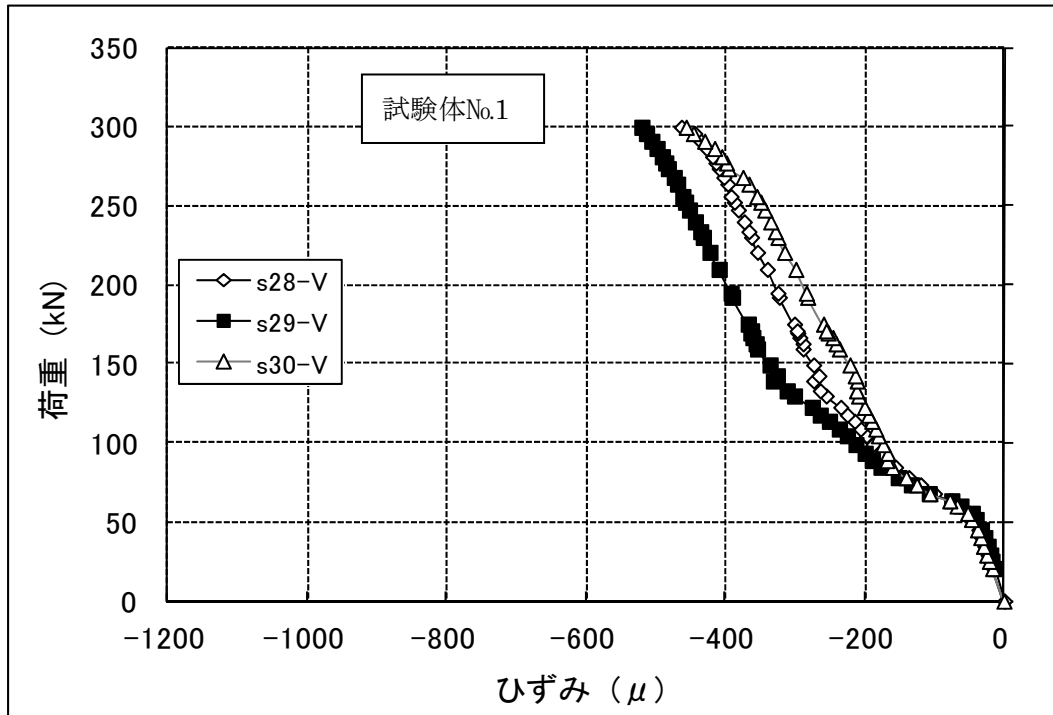


図 110 D50-75 のチャイム部の内貼りコンクリートの鉛直方向ひずみ

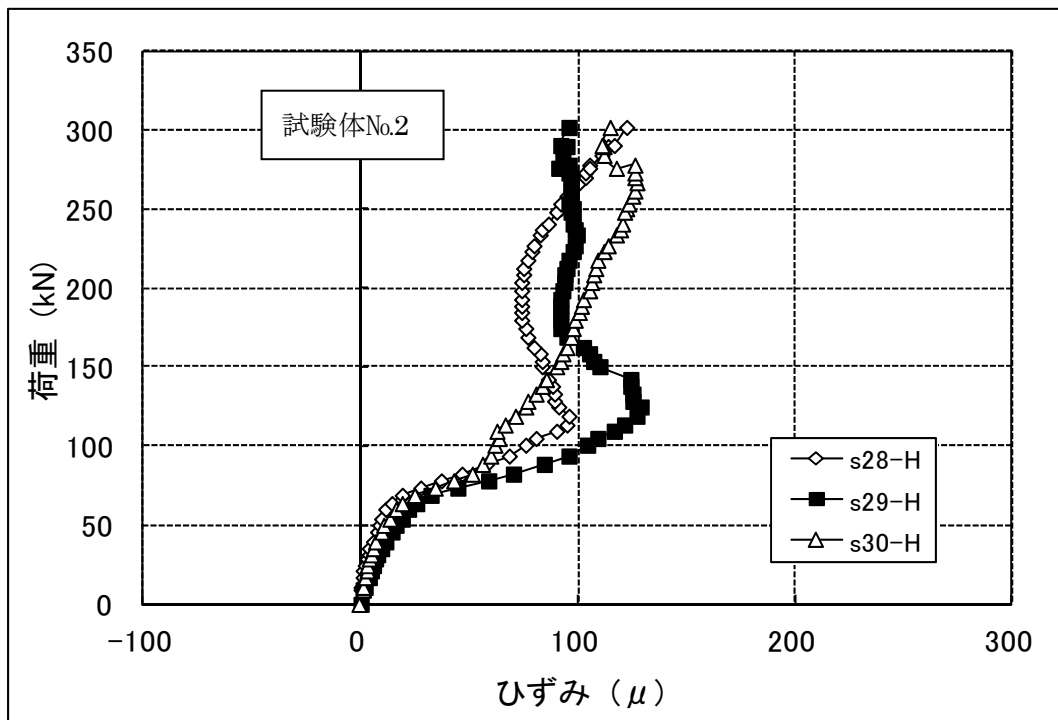
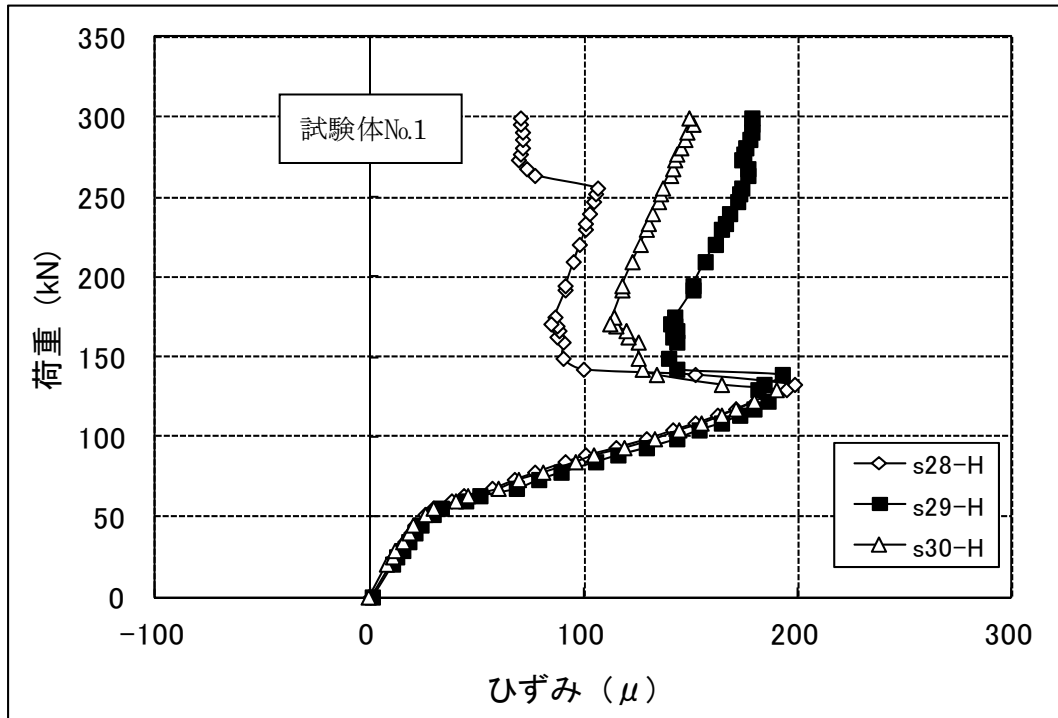


図 111 D50-75 のチャイム部の内貼りコンクリートの水平方向ひずみ

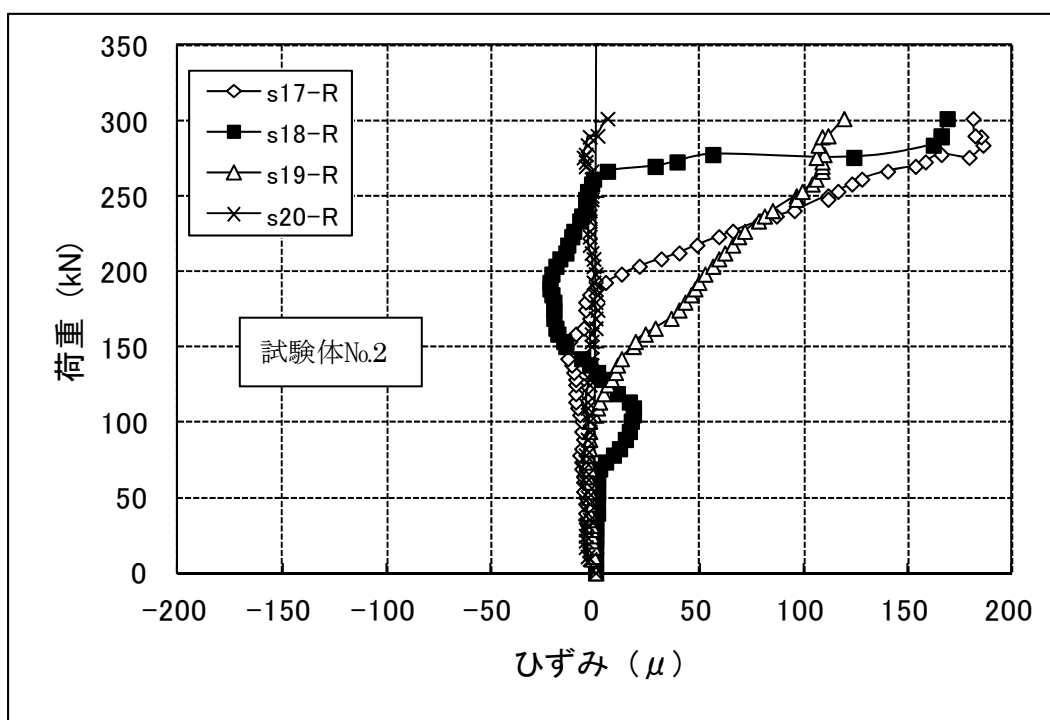
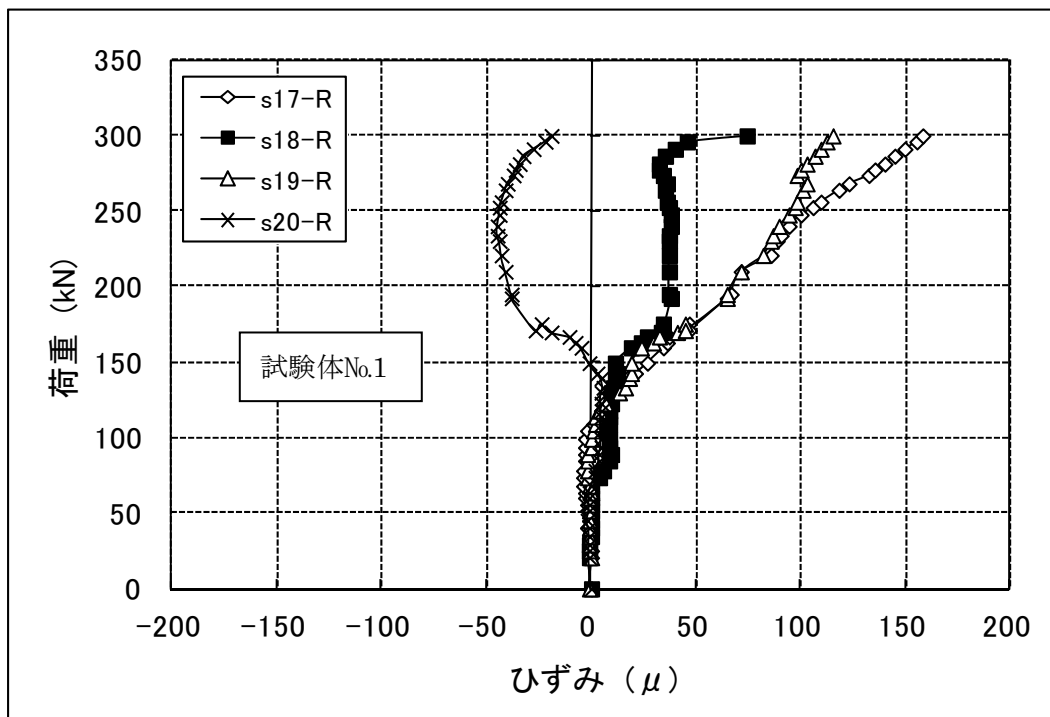


図 112 D50-75 のチャーム部の淵周りの円周方向ひずみ

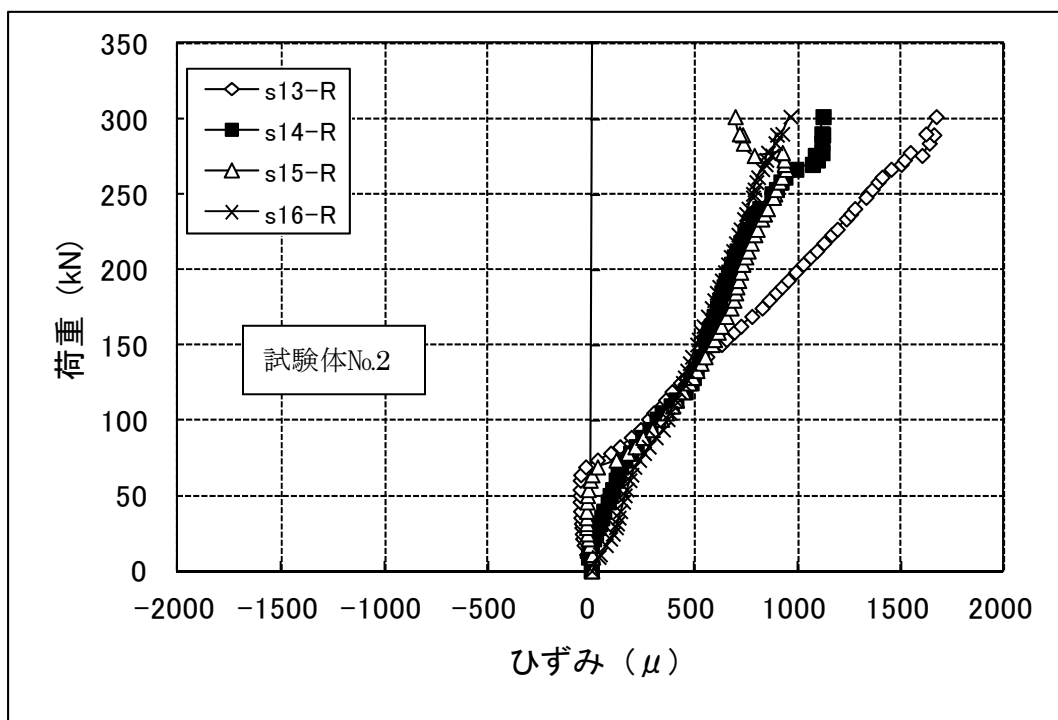
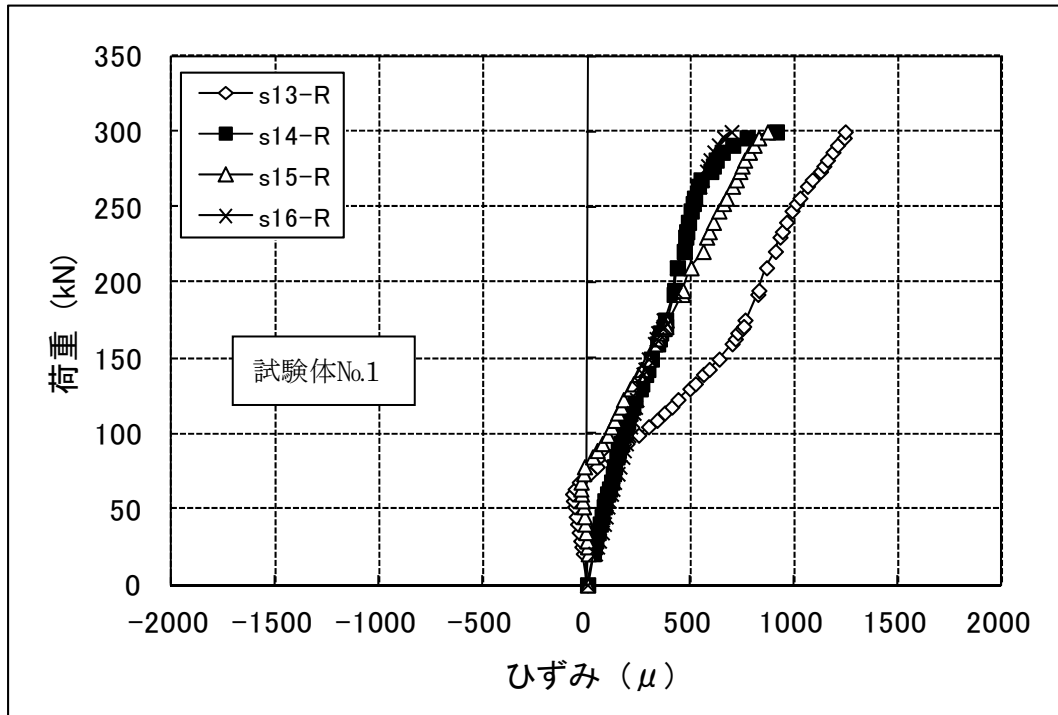


図 113 D50-75 の第一輪帯の円周方向ひずみ

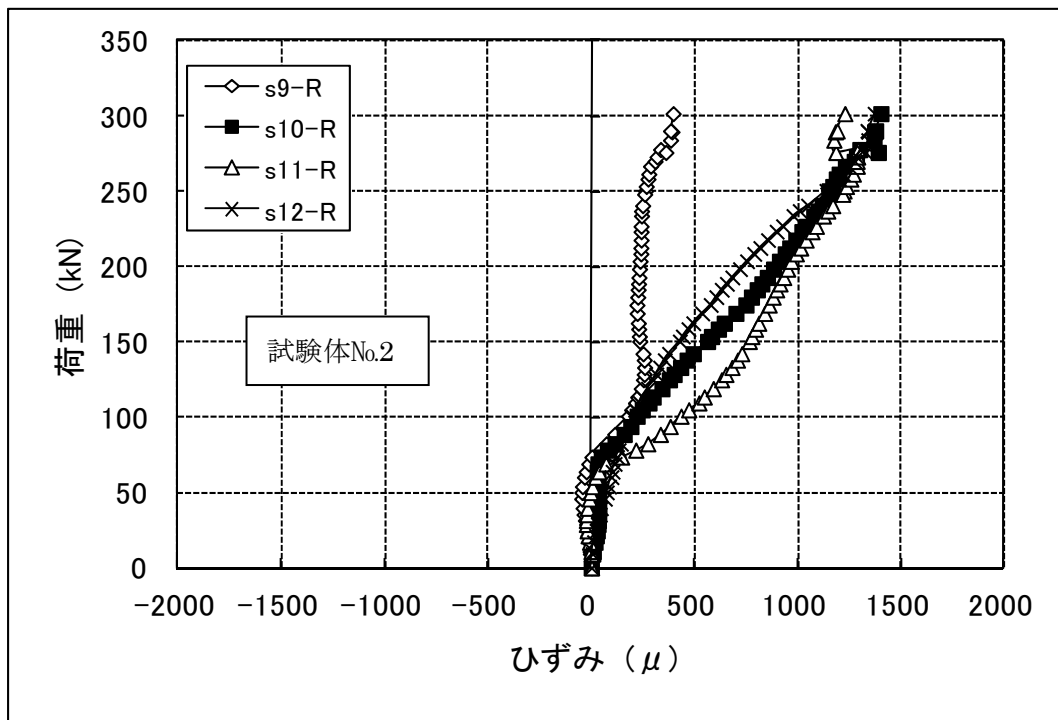
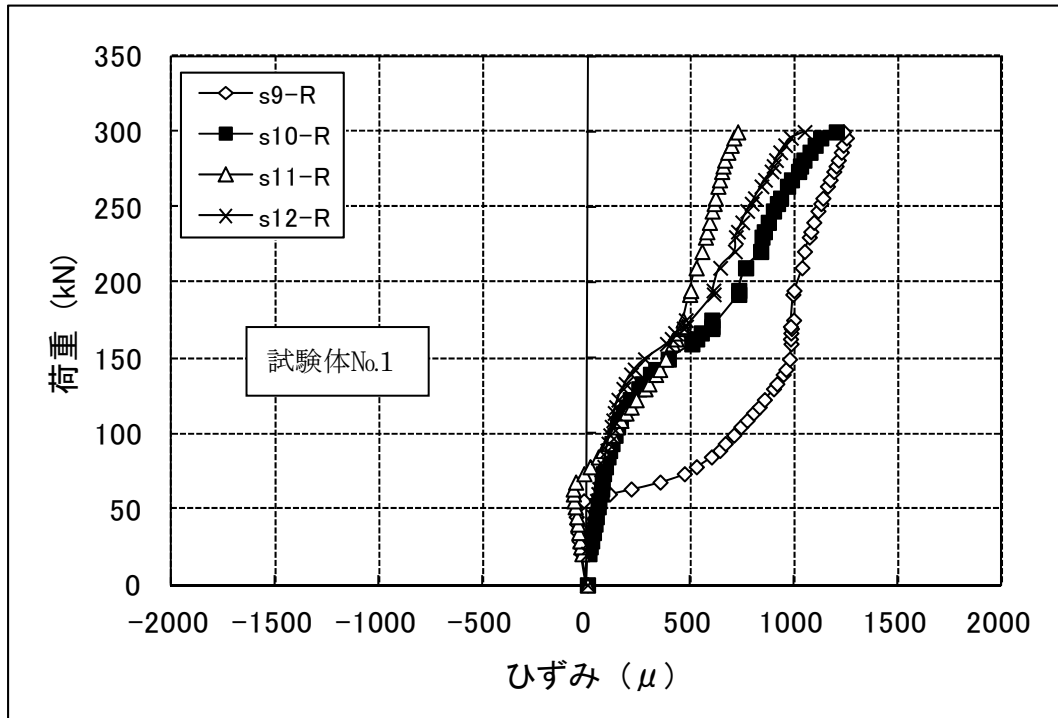


図 114 D50-75 の第二輪帯の円周方向ひずみ

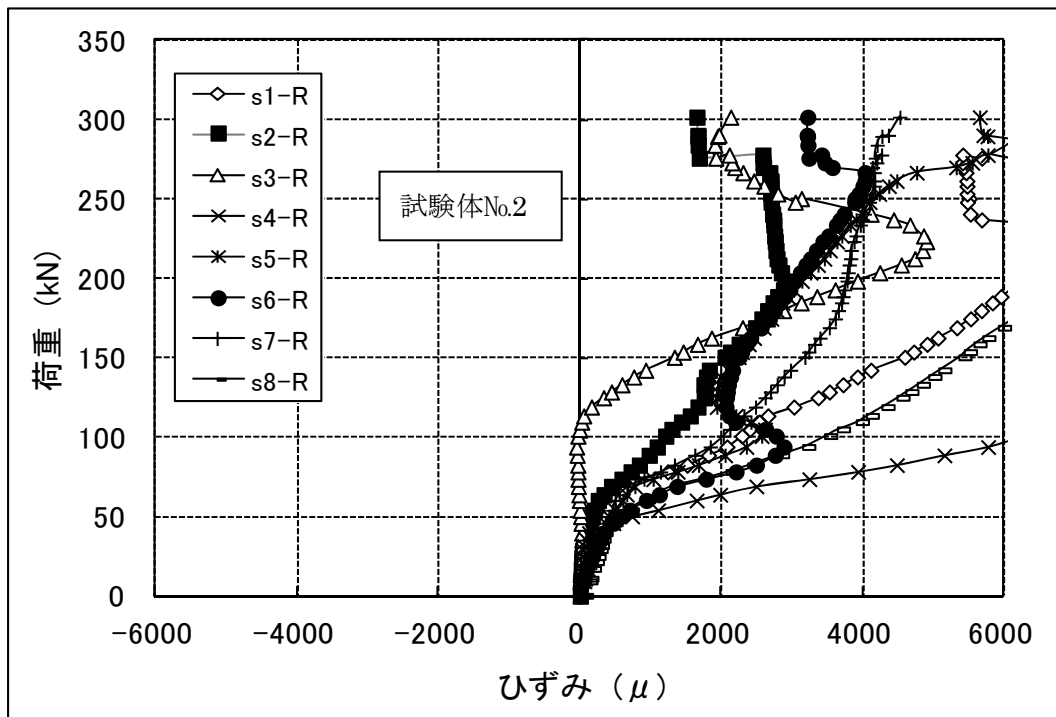
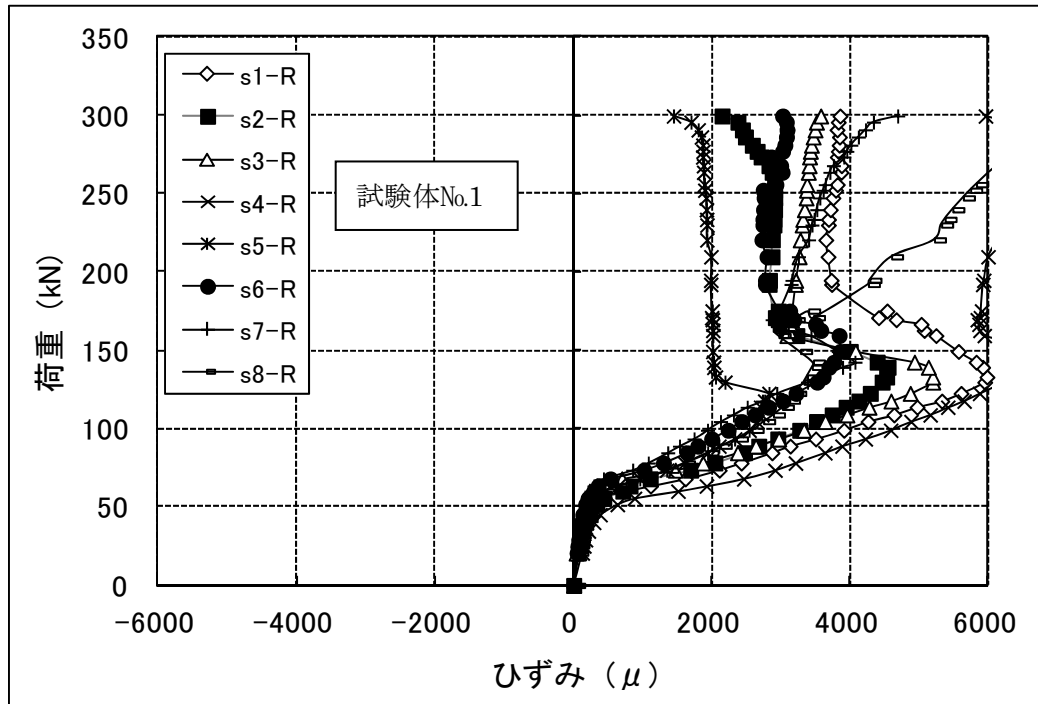


図 115 D50-75 の治具接触点の円周方向ひずみ

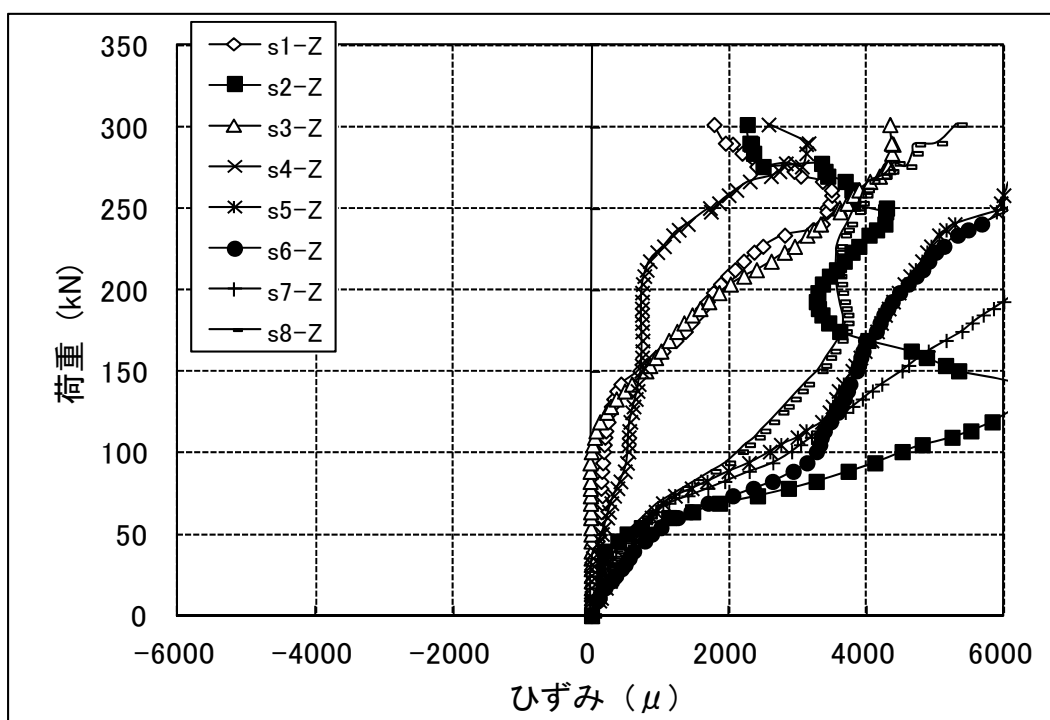
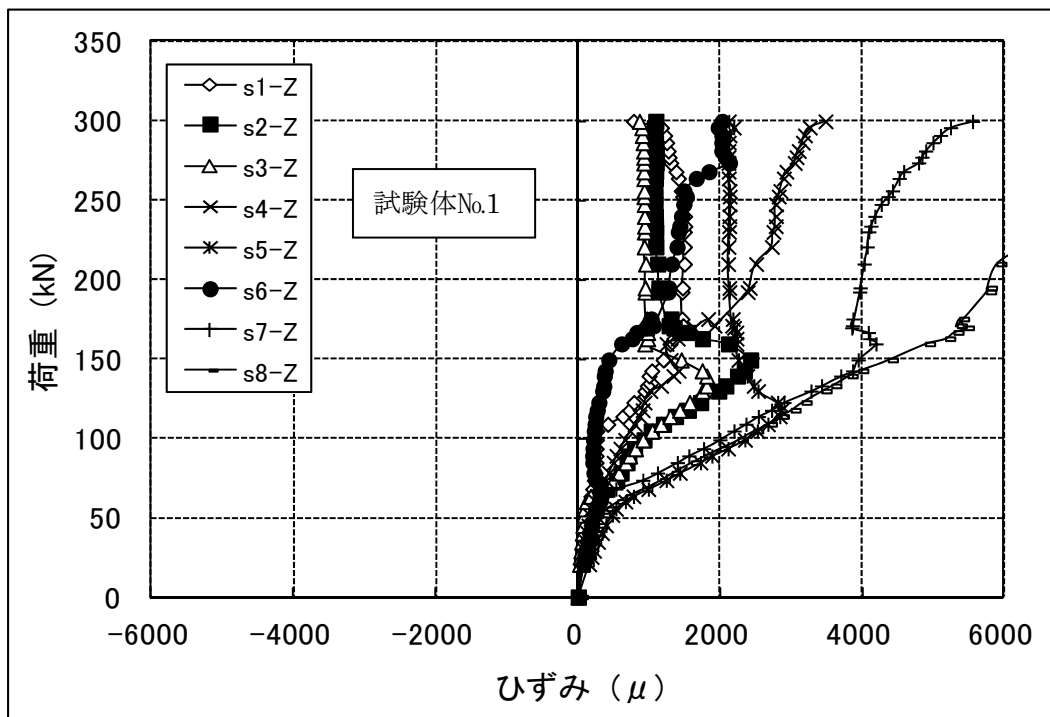


図 116 D50-75 の治具接触点の軸方向ひずみ

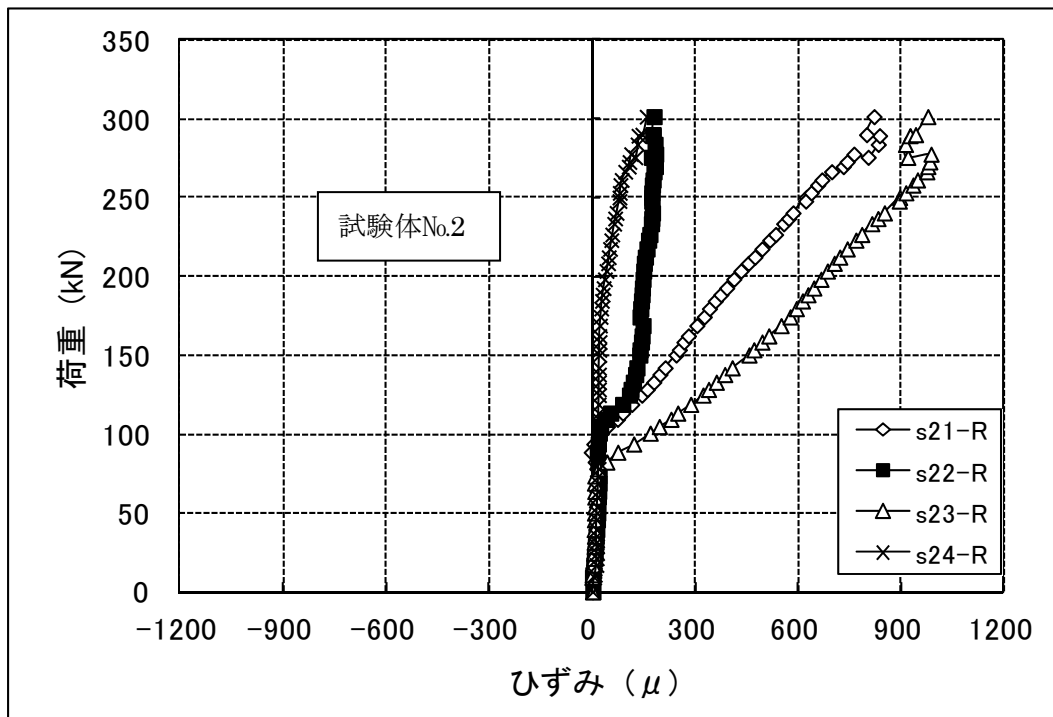
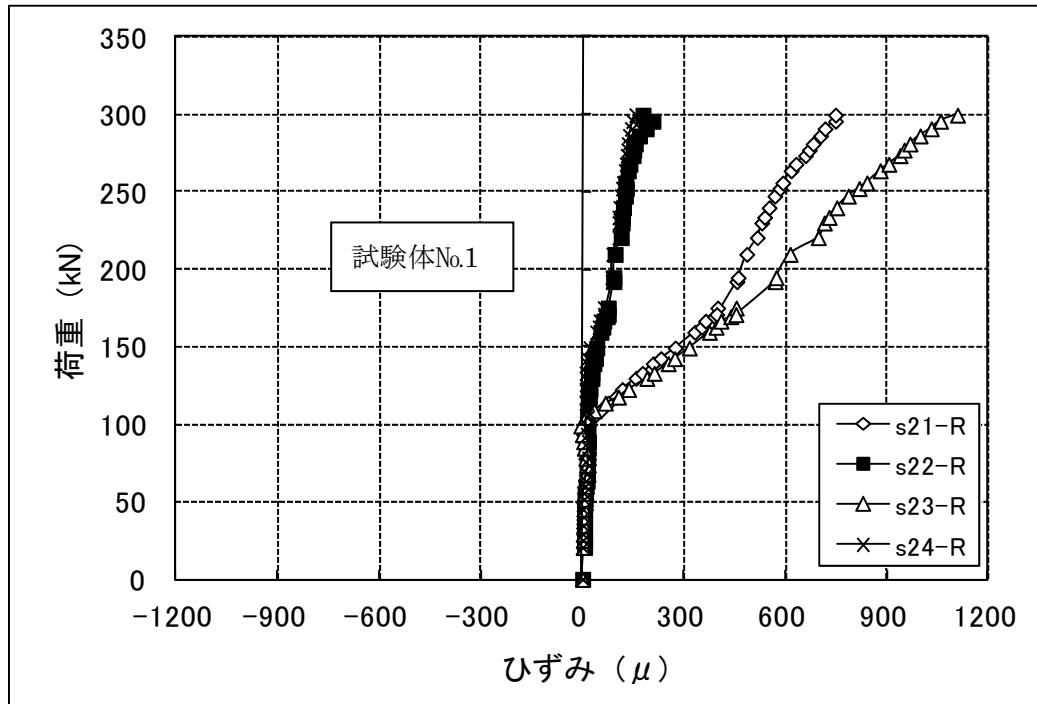


図 117 D50-75 の治具接触点におけるドラム缶側面の円周方向ひずみ

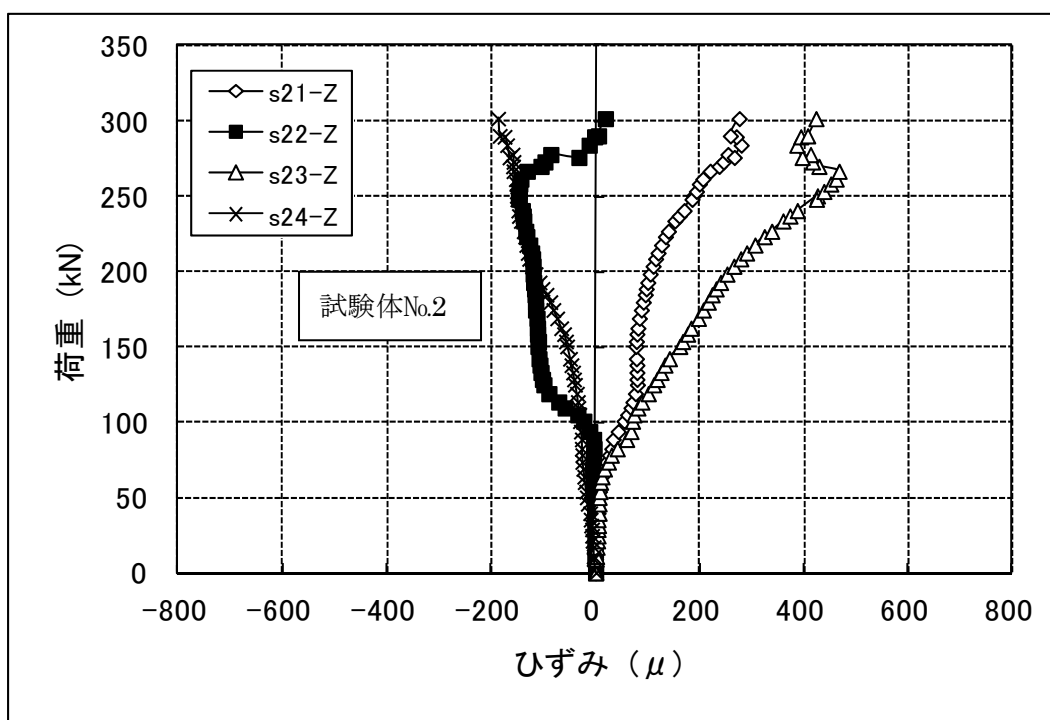
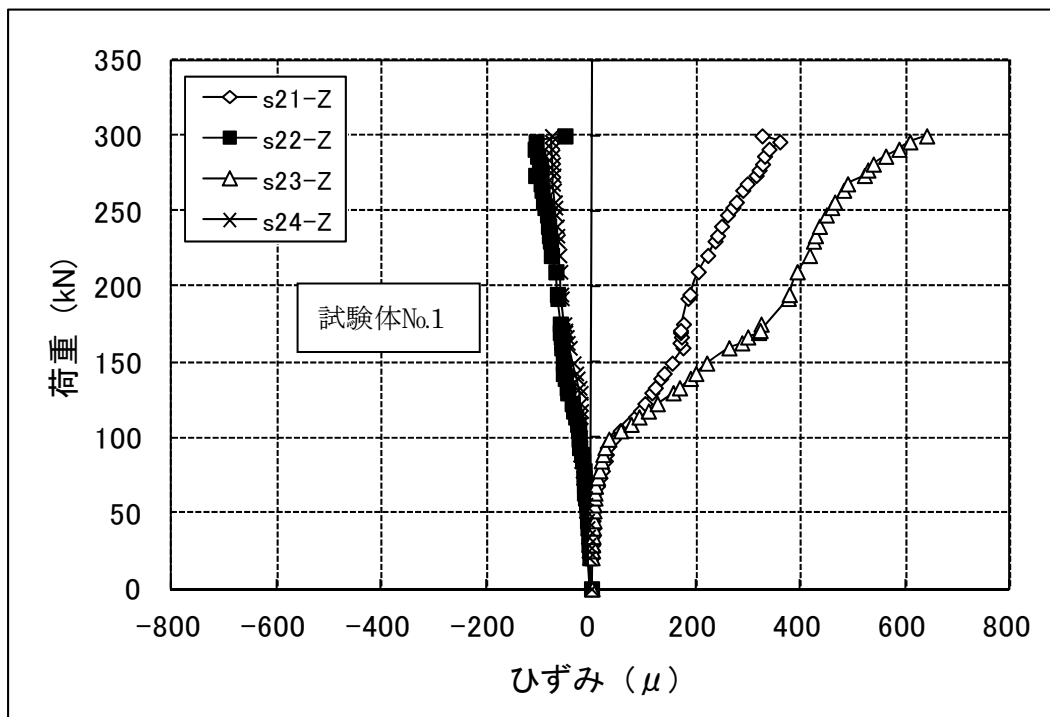


図 118 D50-75 の治具接触点におけるドラム缶側面の軸方向ひずみ

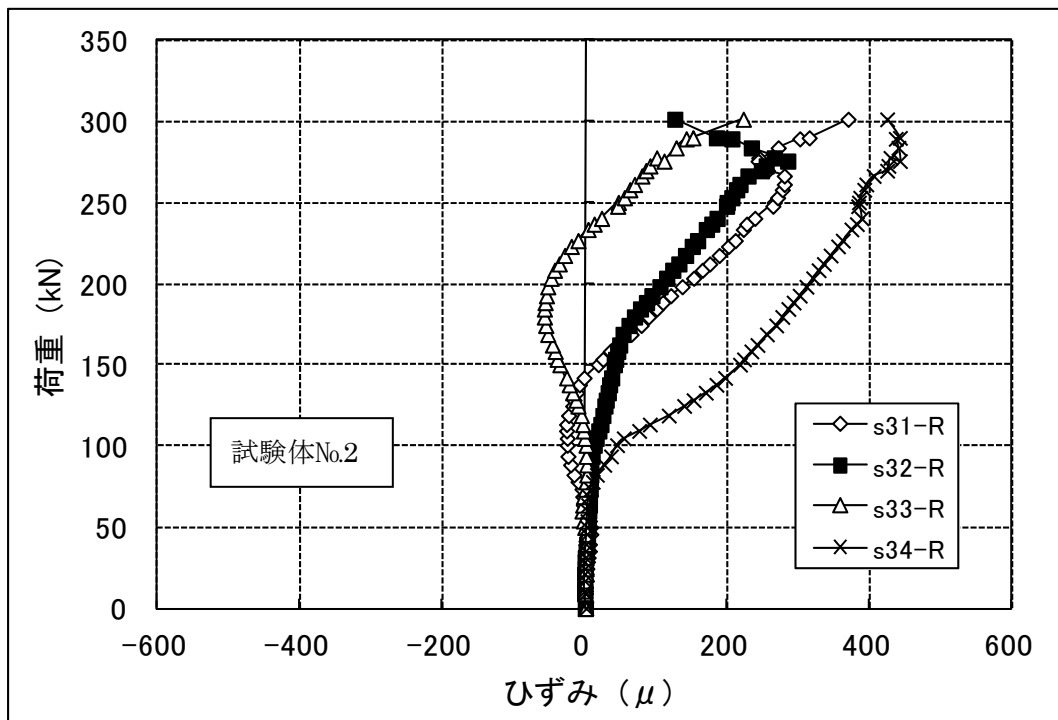
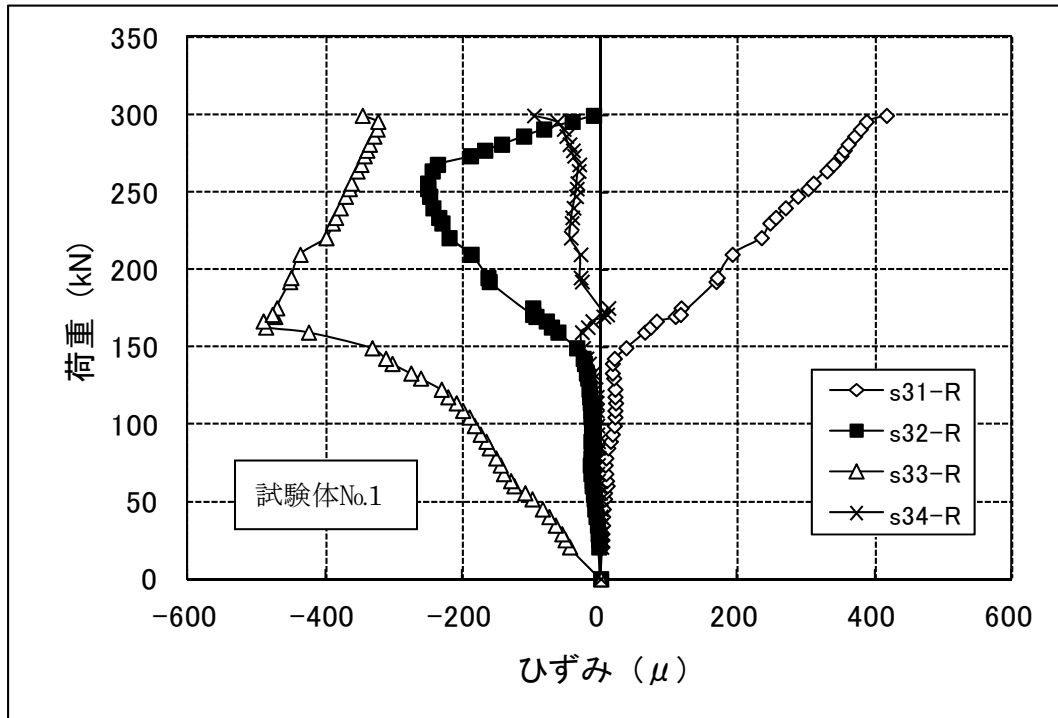


図 119 D50-75 の蓋付近における円周方向ひずみ

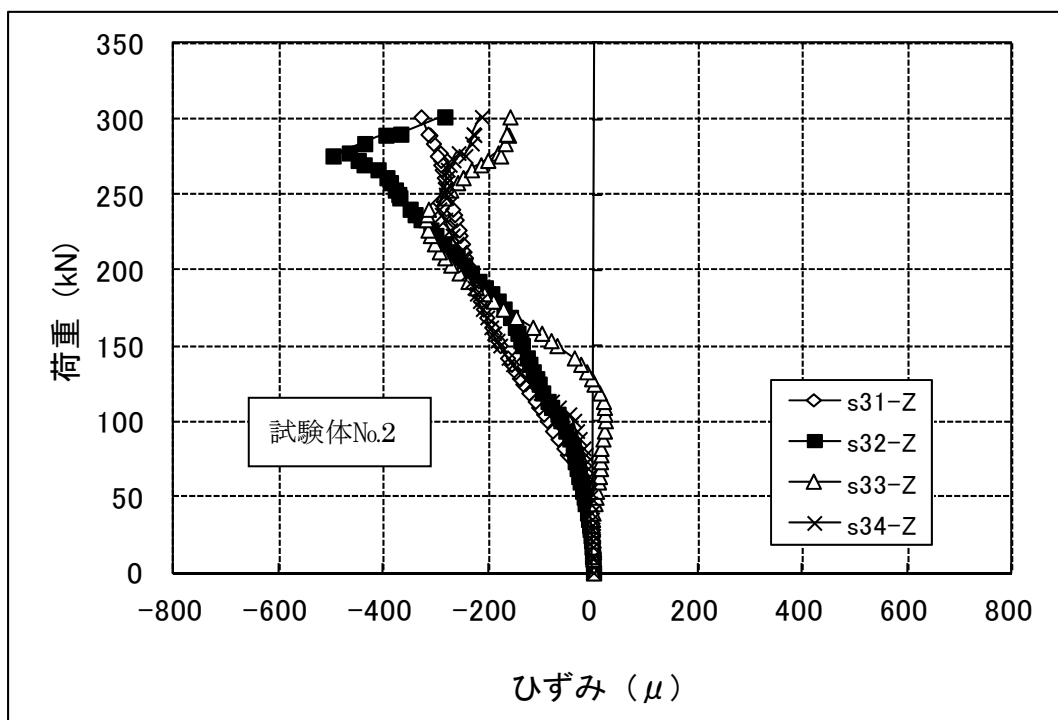
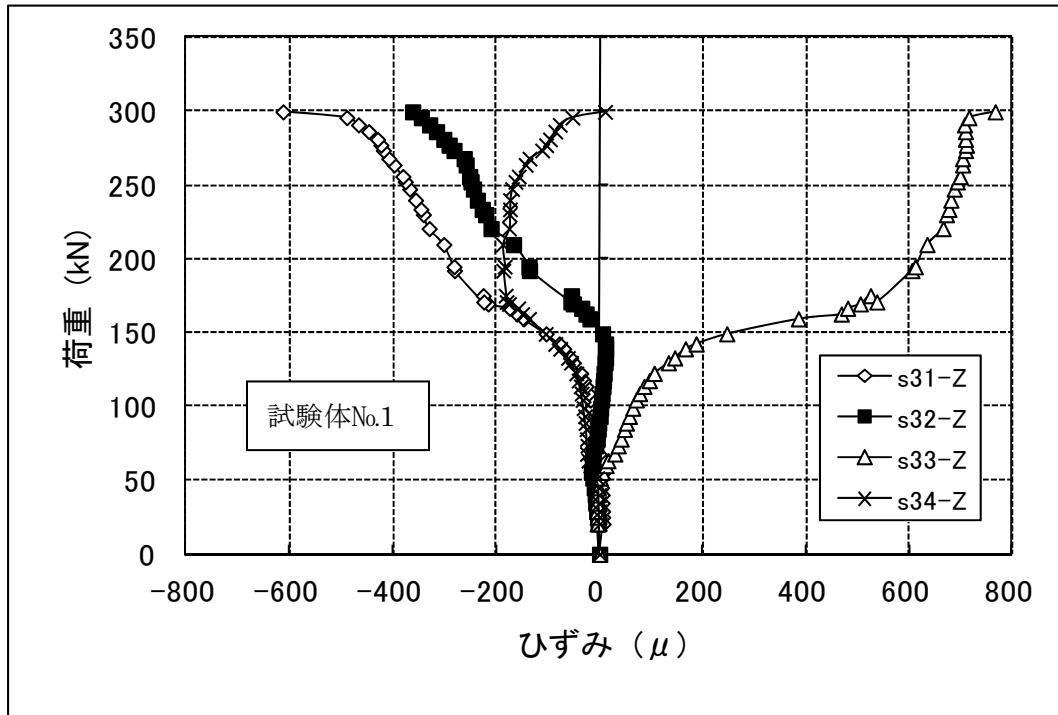


図 120 D50-75 の蓋付近における軸方向ひずみ

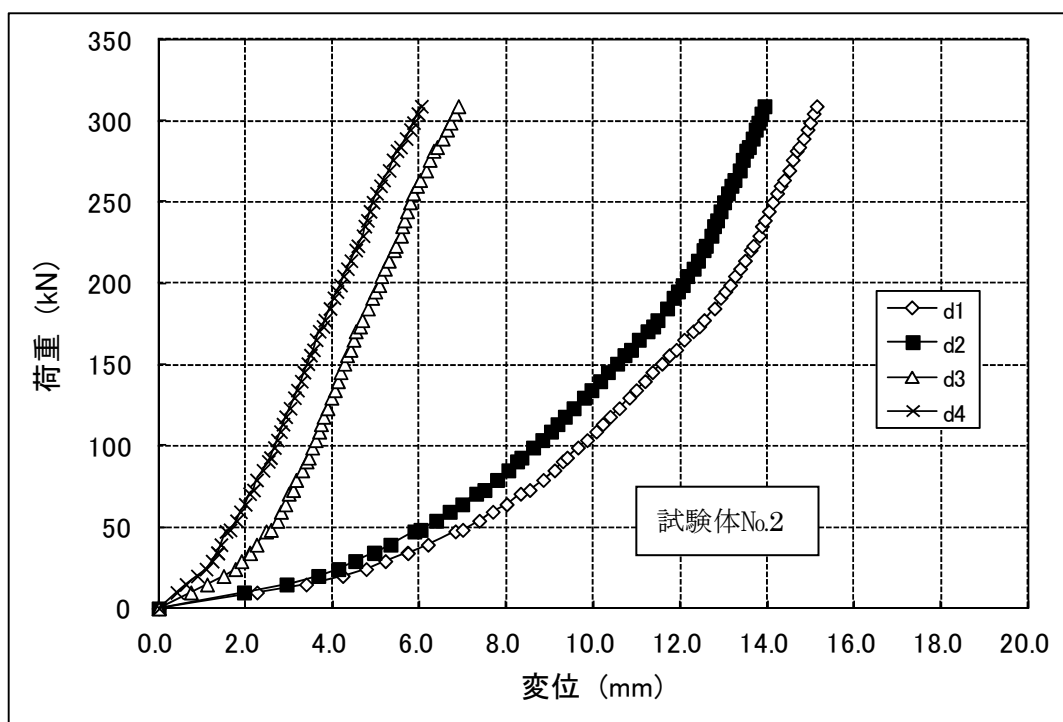
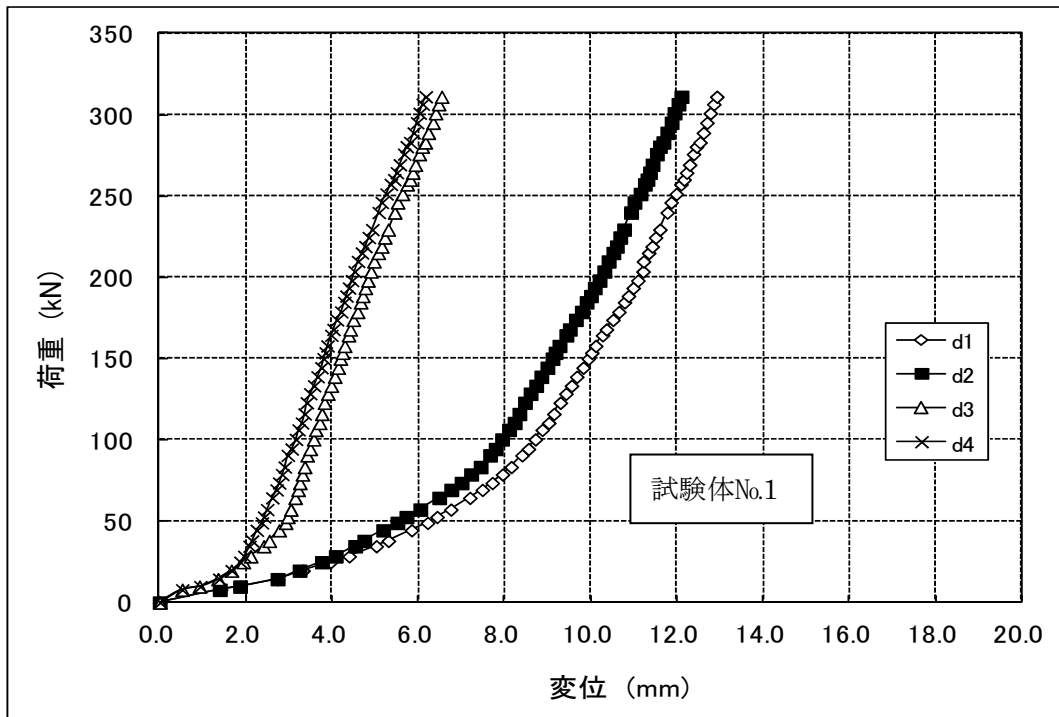


図 121 セメント均質固化体 5N/mm²の鉛直変位

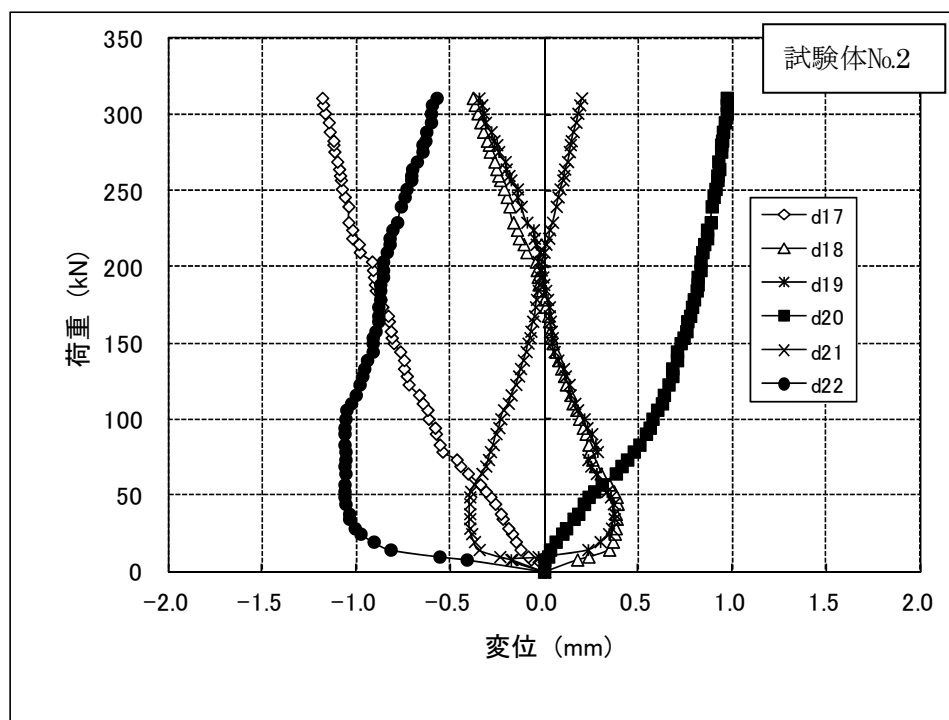
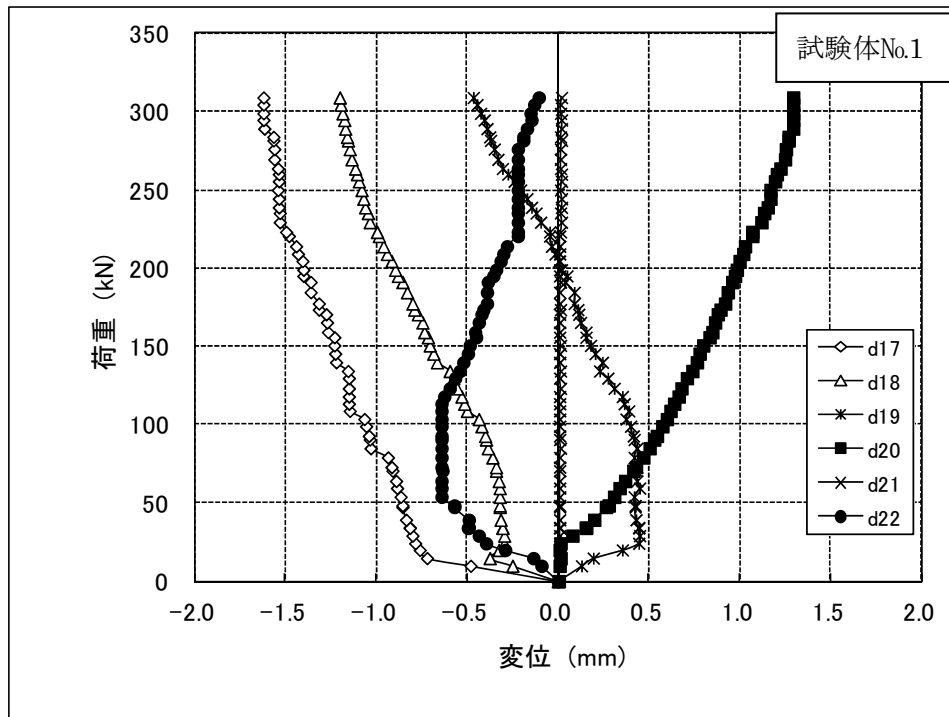


図 122 セメント均質固化体 5N/mm²のチャイム(17, 18, 19)及び蓋(20, 21, 22)の変位

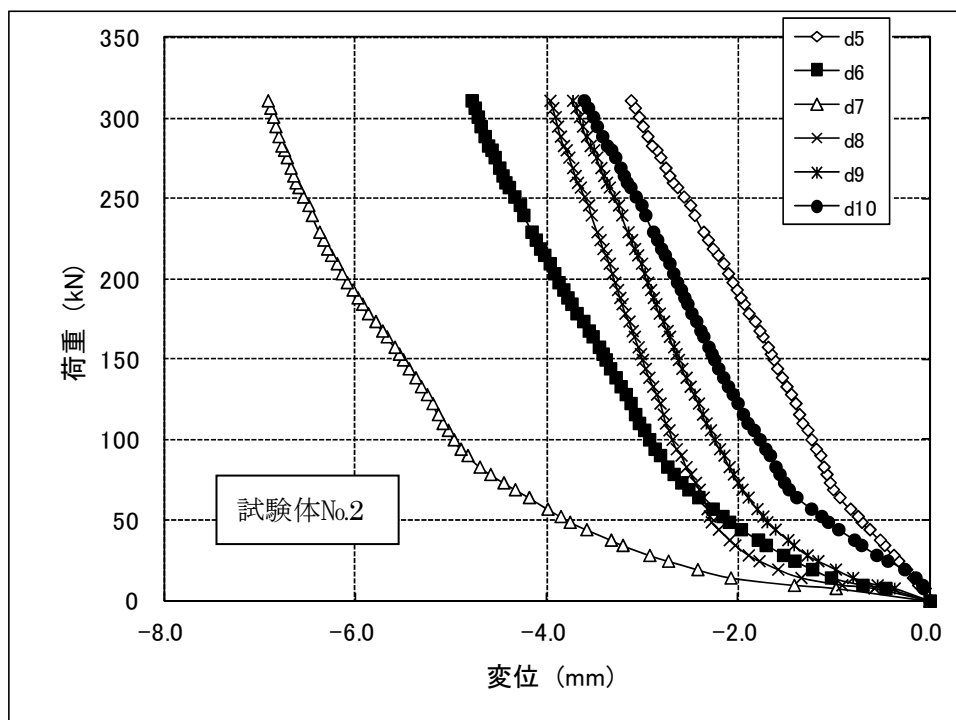
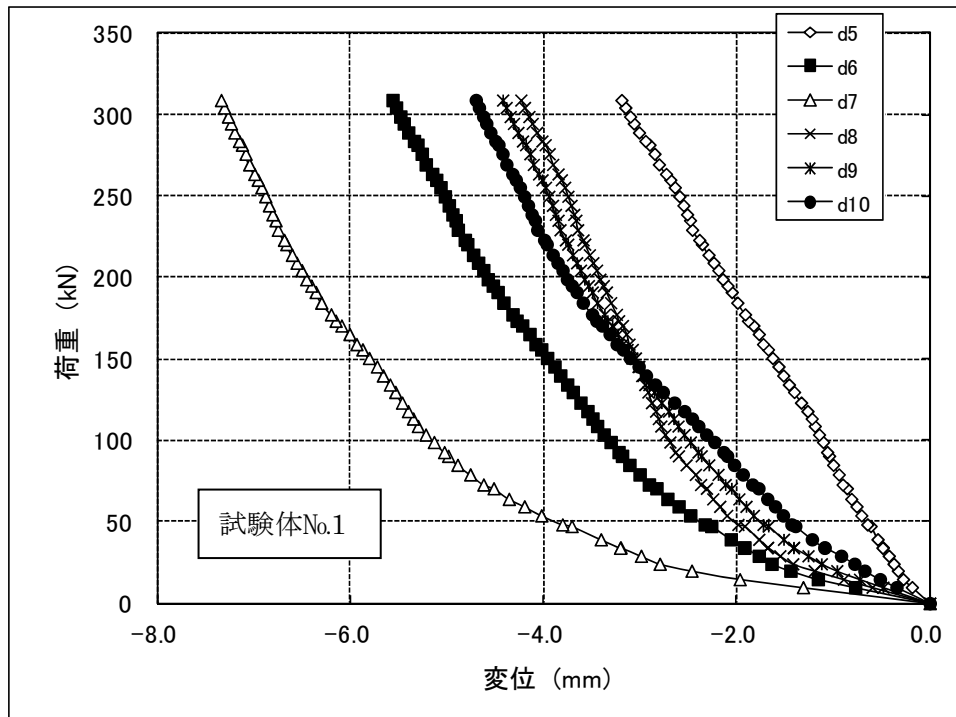


図 123 セメント均質固化体 5N/mm^2 のチャイム部淵周(5, 8)及び輪帯(6, 7, 9,10)の上下部の変位

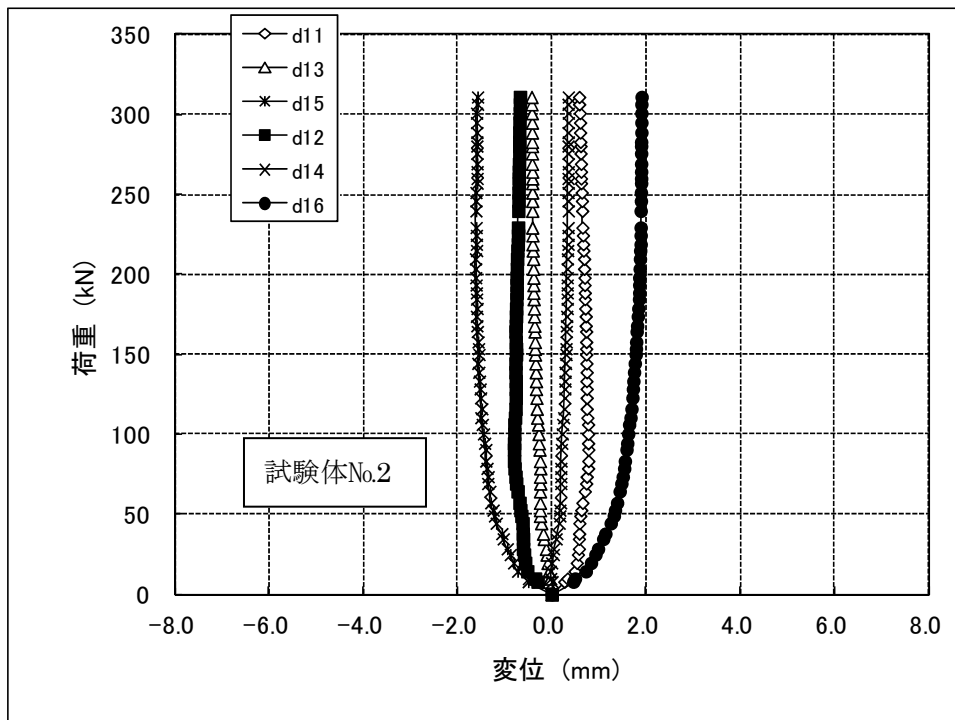
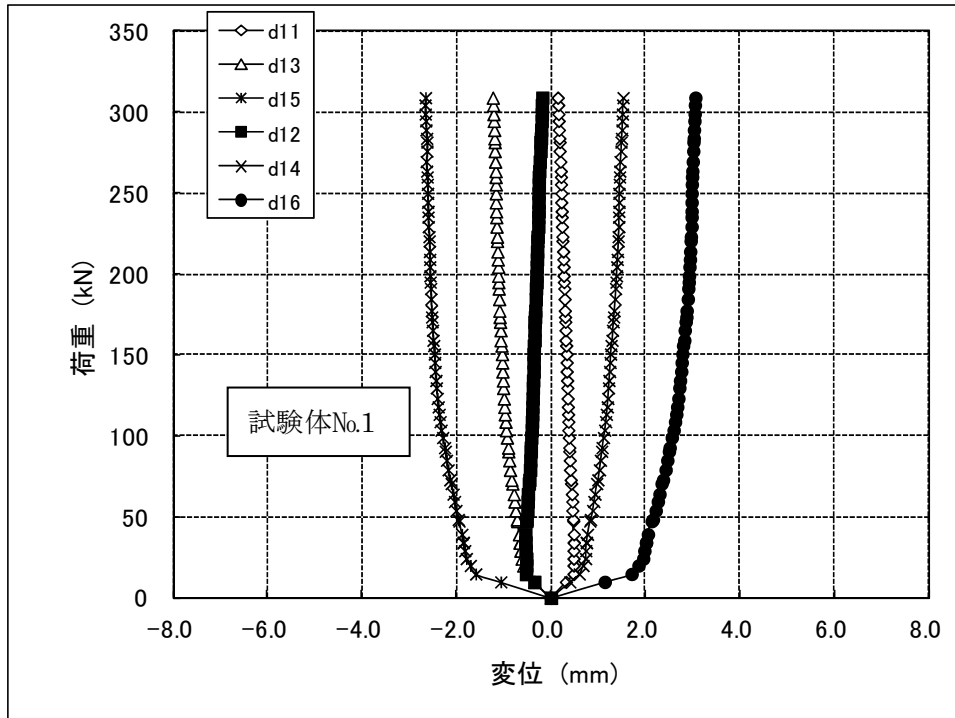


図 124 セメント均質固化体 5N/mm^2 のチャイム部淵周(11, 12)及び輪帯(13, 14, 15, 16)の側部変位

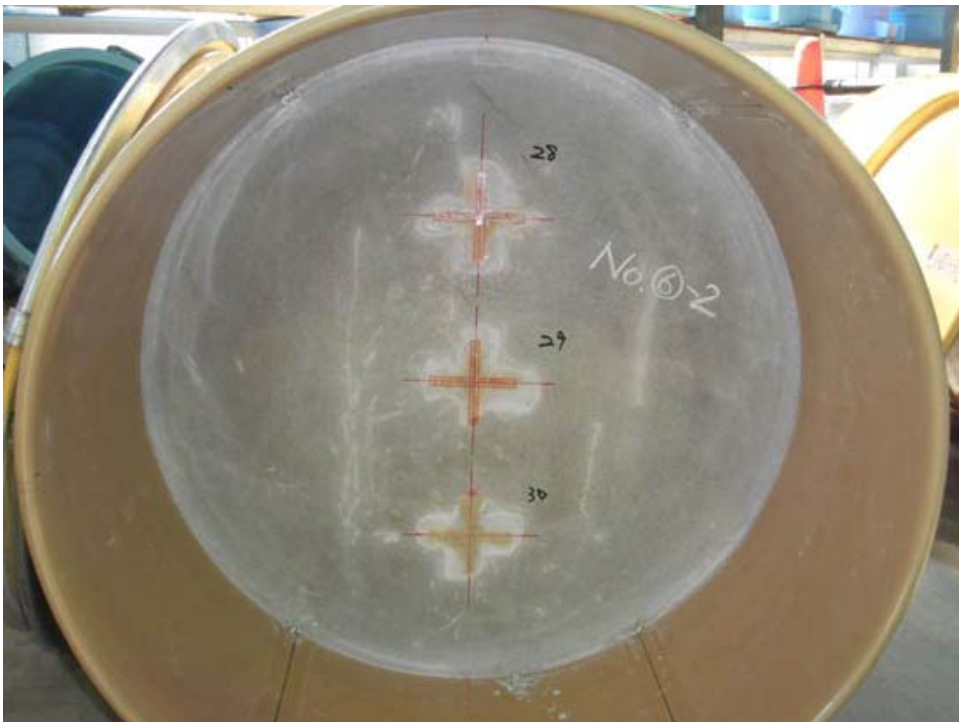


図 125 セメント均質固化体 $5\text{N}/\text{mm}^2$ (試験体No.1)の裁荷後の変形の状況(1/2)

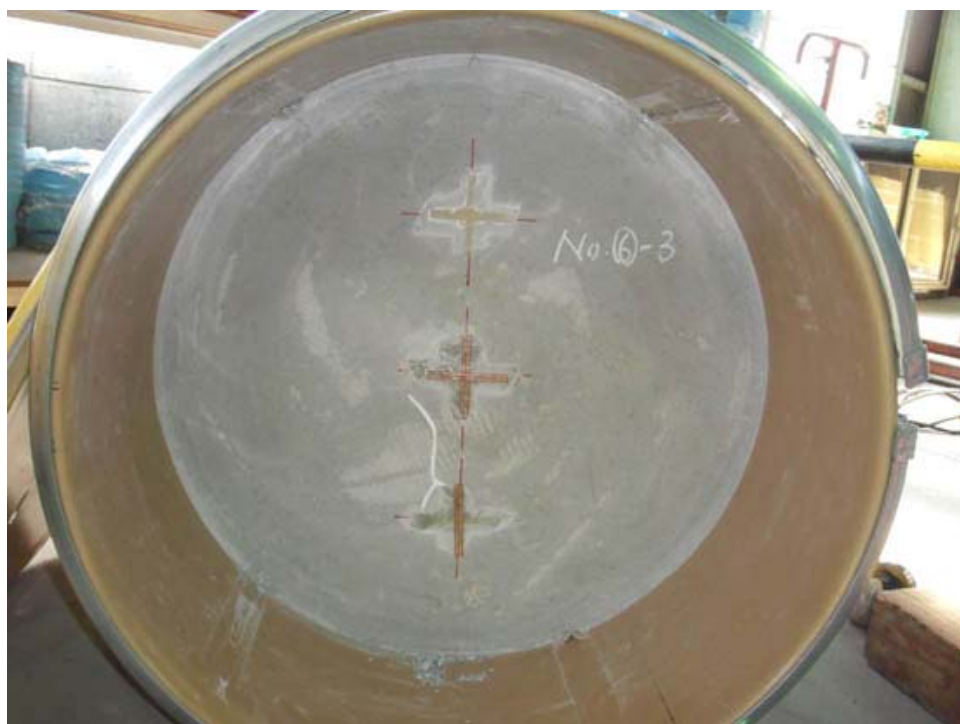


図 125 セメント均質固化体 $5\text{N}/\text{mm}^2$ (試験体No.2)の裁荷後の変形の状況(2/2)

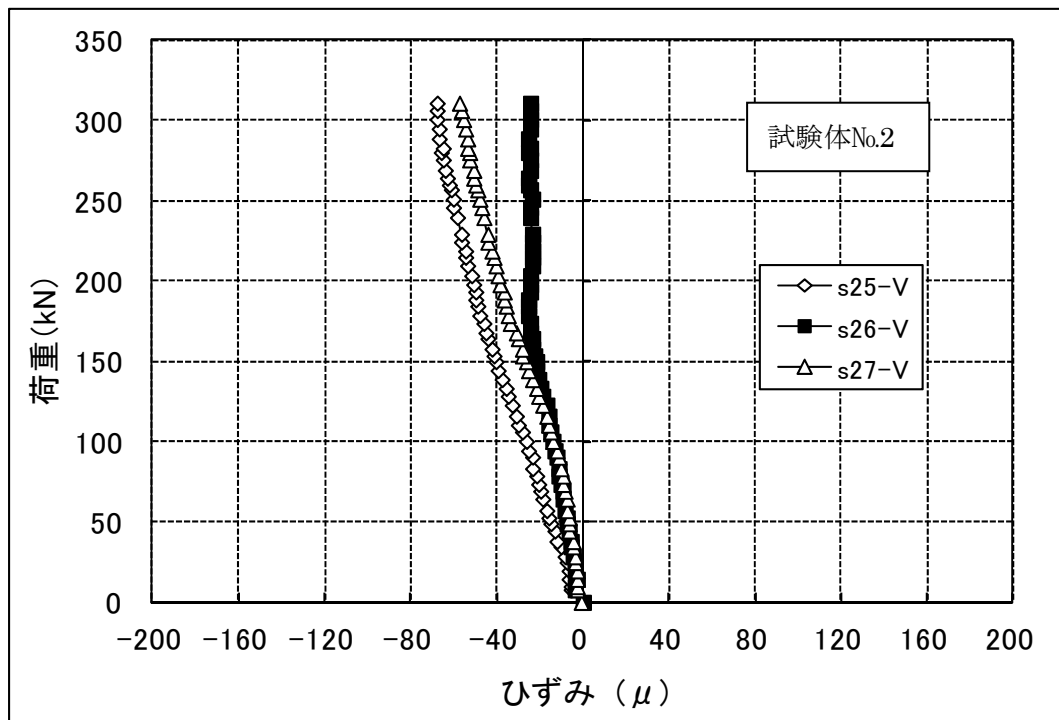
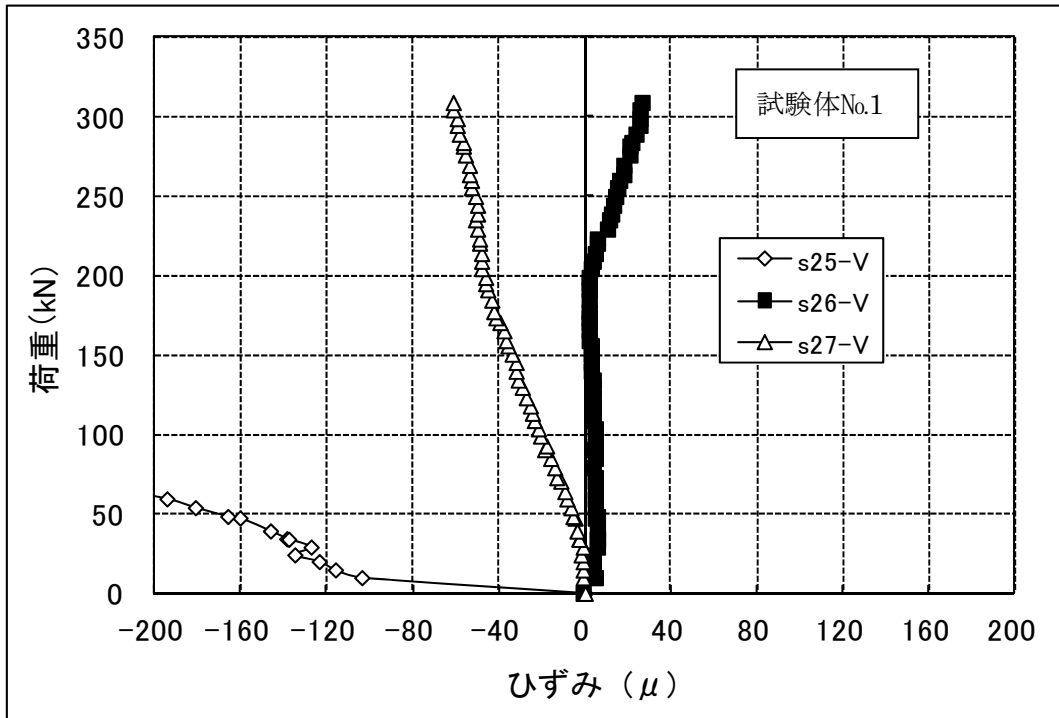


図 126 セメント均質固化体 5N/mm²のチャイムの鉛直方向ひずみ

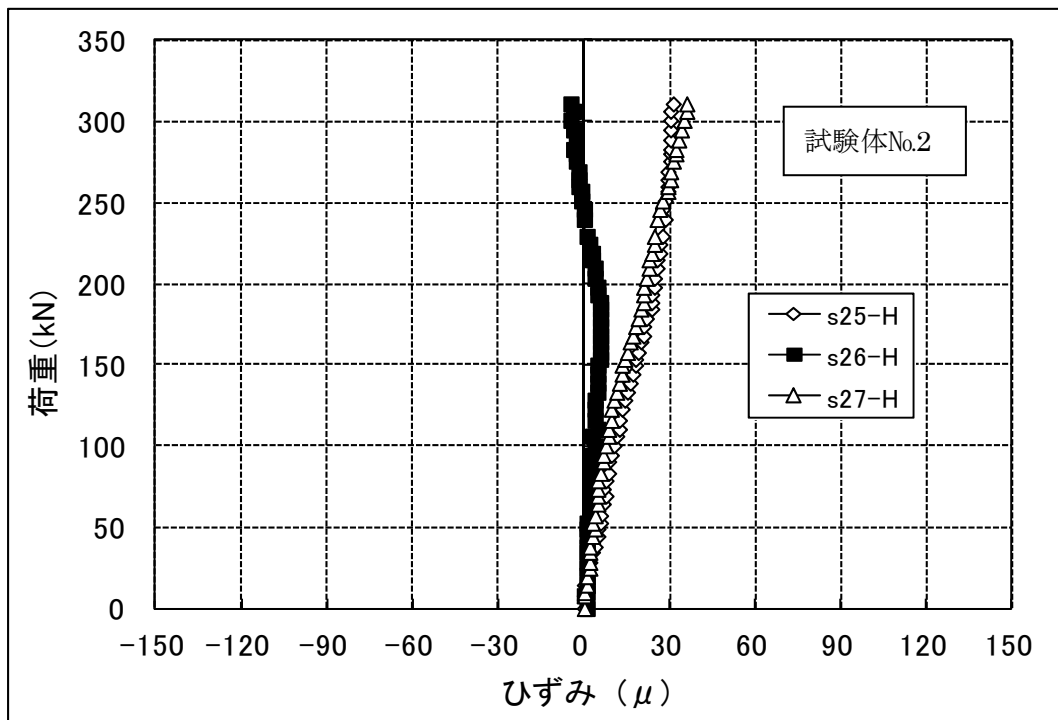
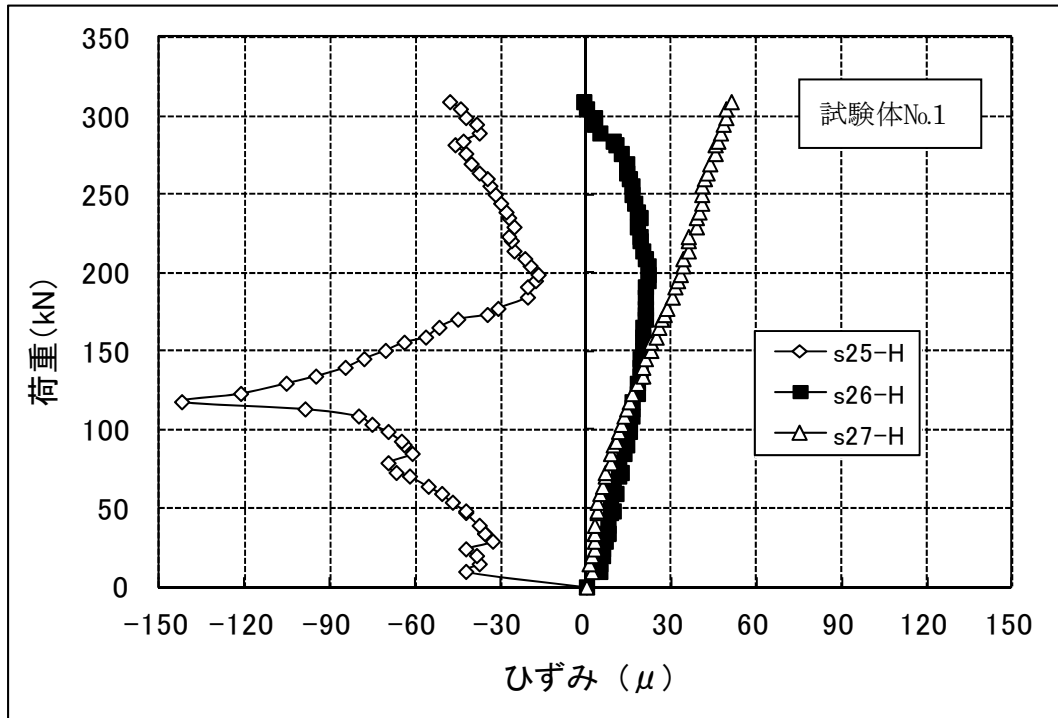


図 127 セメント均質固化体 $5\text{N}/\text{mm}^2$ のチャイムの水平方向ひずみ

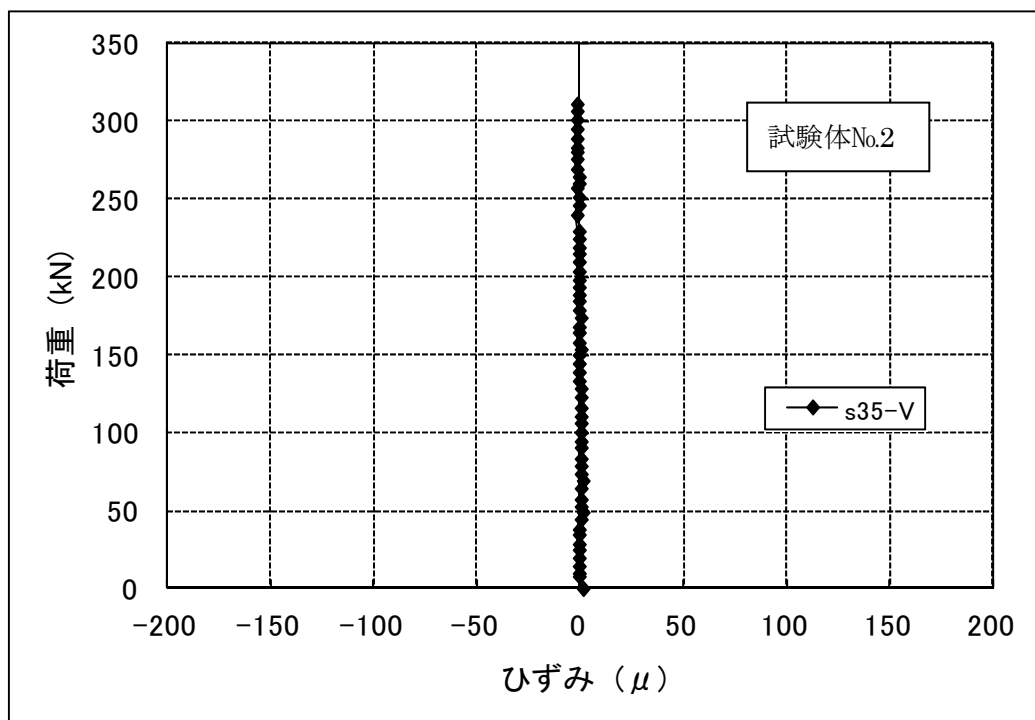
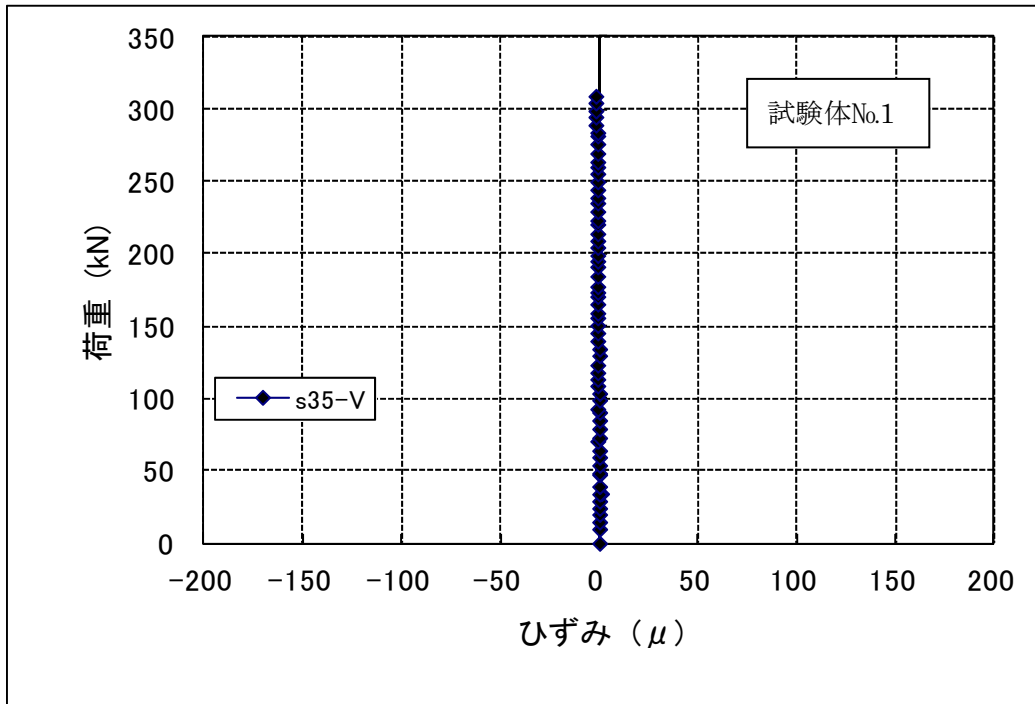


図 128 セメント均質固化体 $5\text{N}/\text{mm}^2$ の蓋の鉛直方向ひずみ

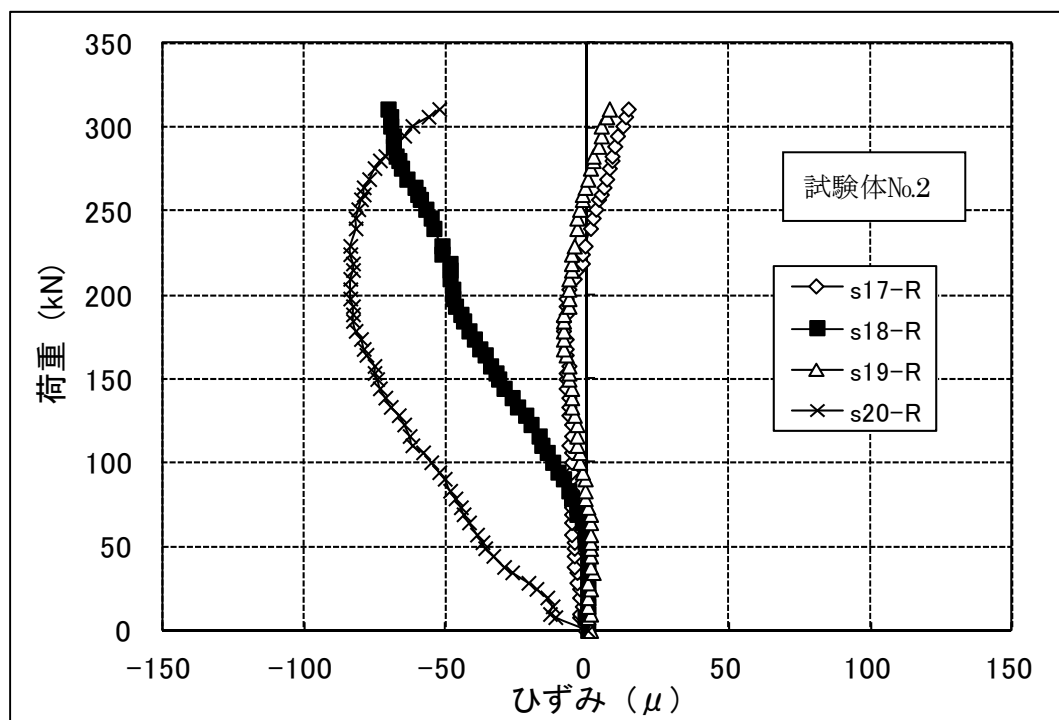
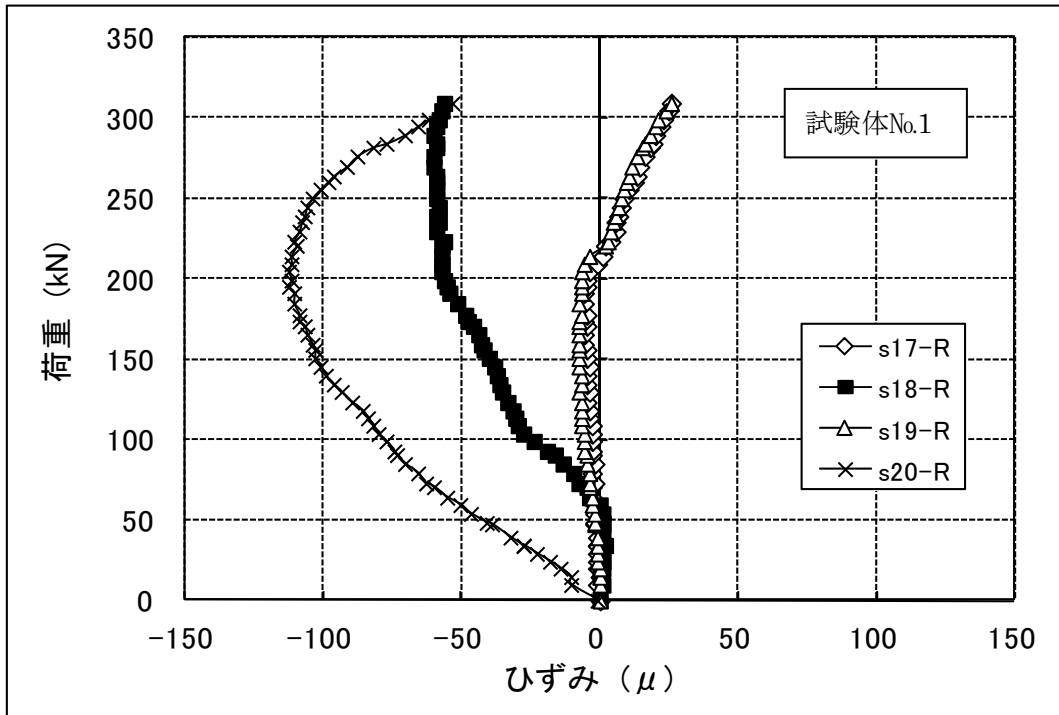


図 129 セメント均質固化体 $5\text{N}/\text{mm}^2$ のチャイム部淵周の円周方向ひずみ

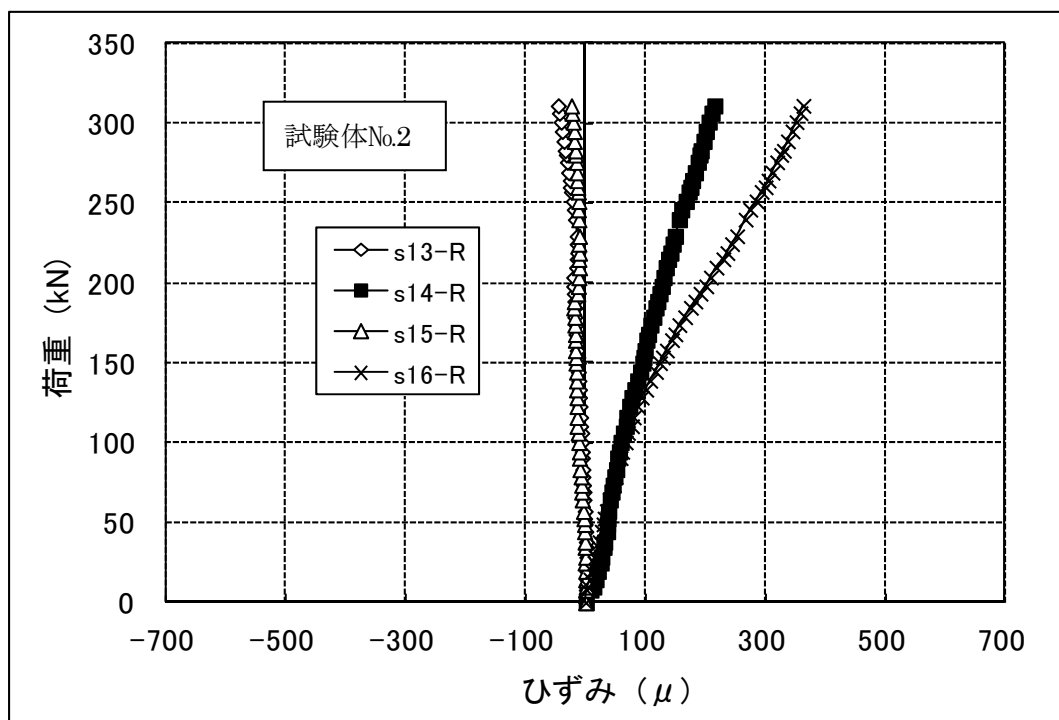
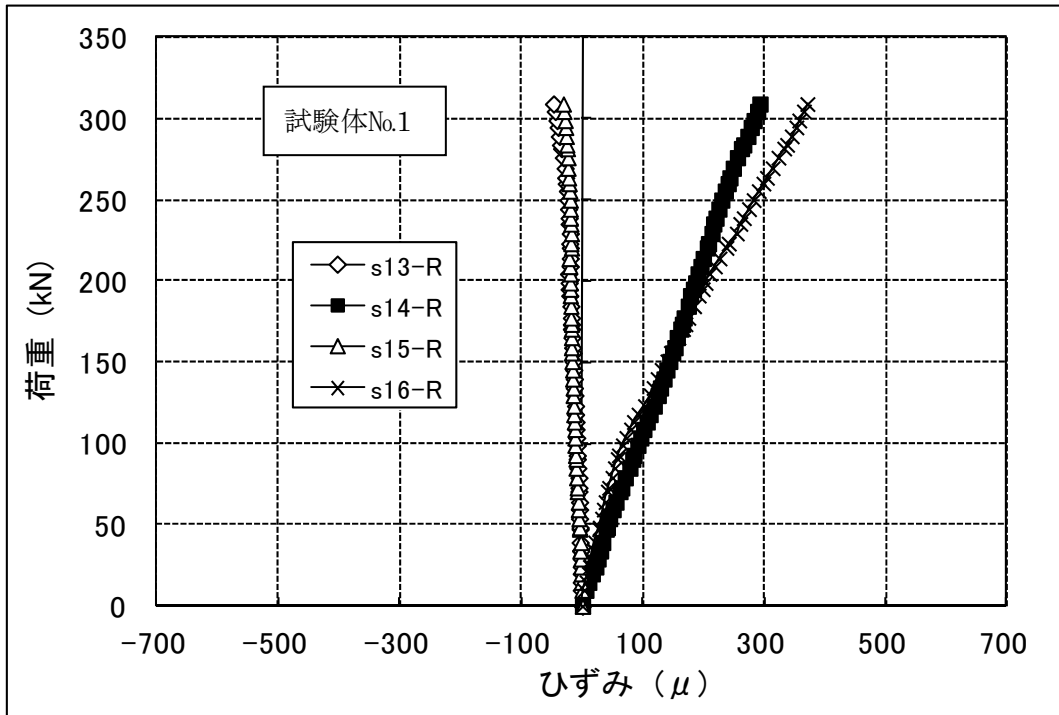


図 130 セメント均質固化体 $5\text{N}/\text{mm}^2$ の第1輪帯の円周方向ひずみ

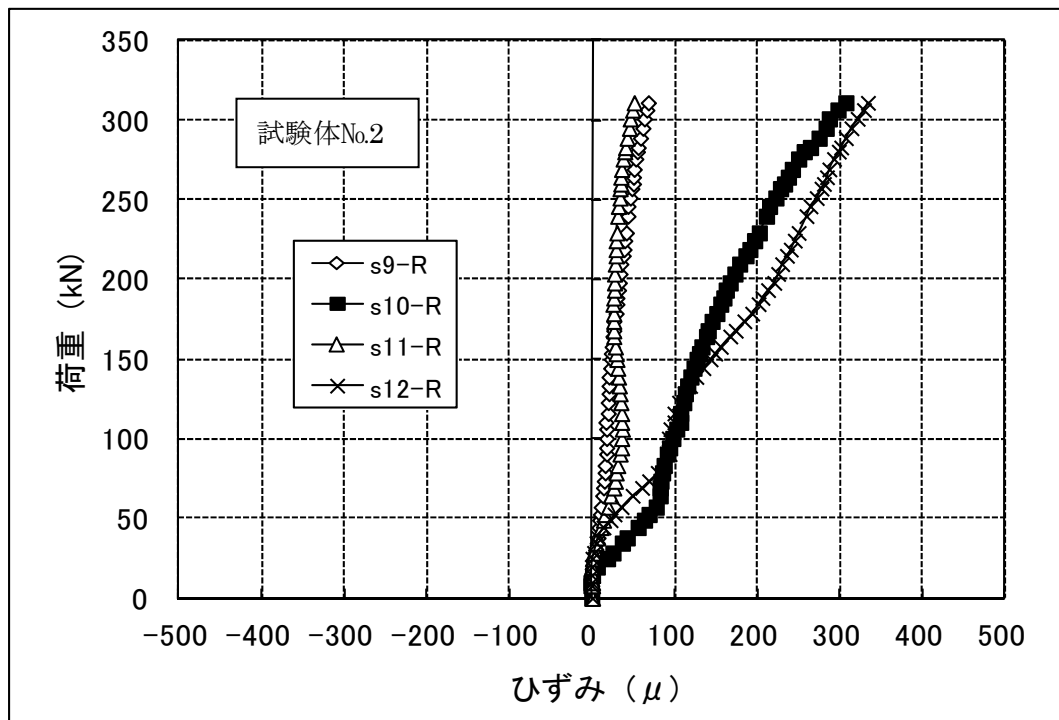
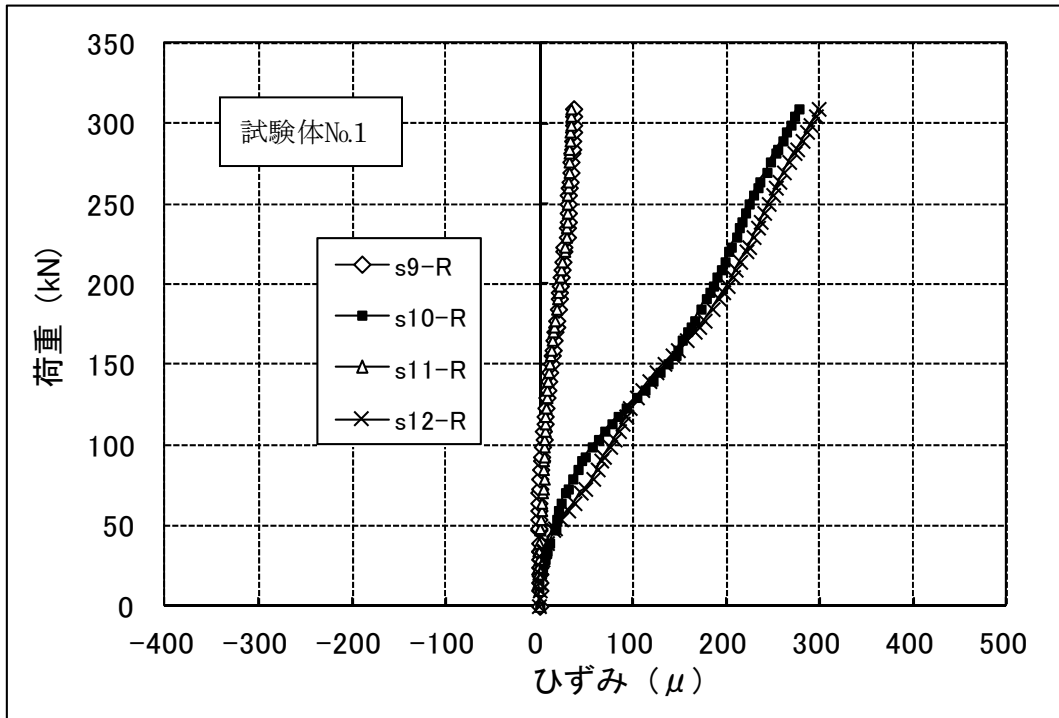


図 131 セメント均質固化体 5N/mm^2 の第 2 輪帯の円周方向ひずみ

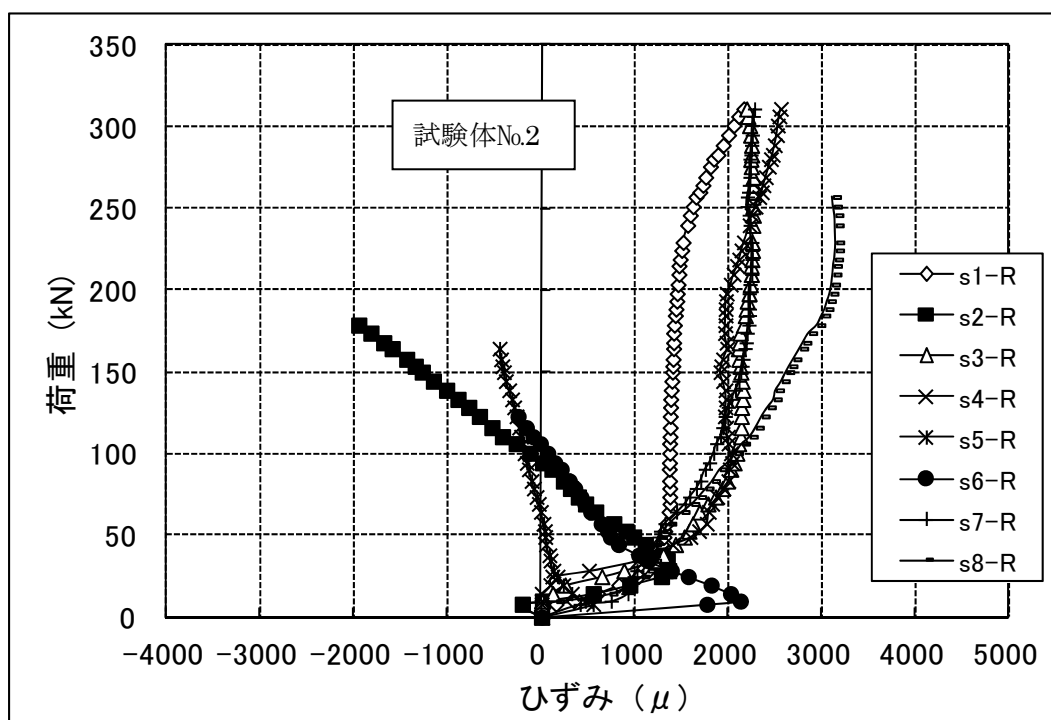
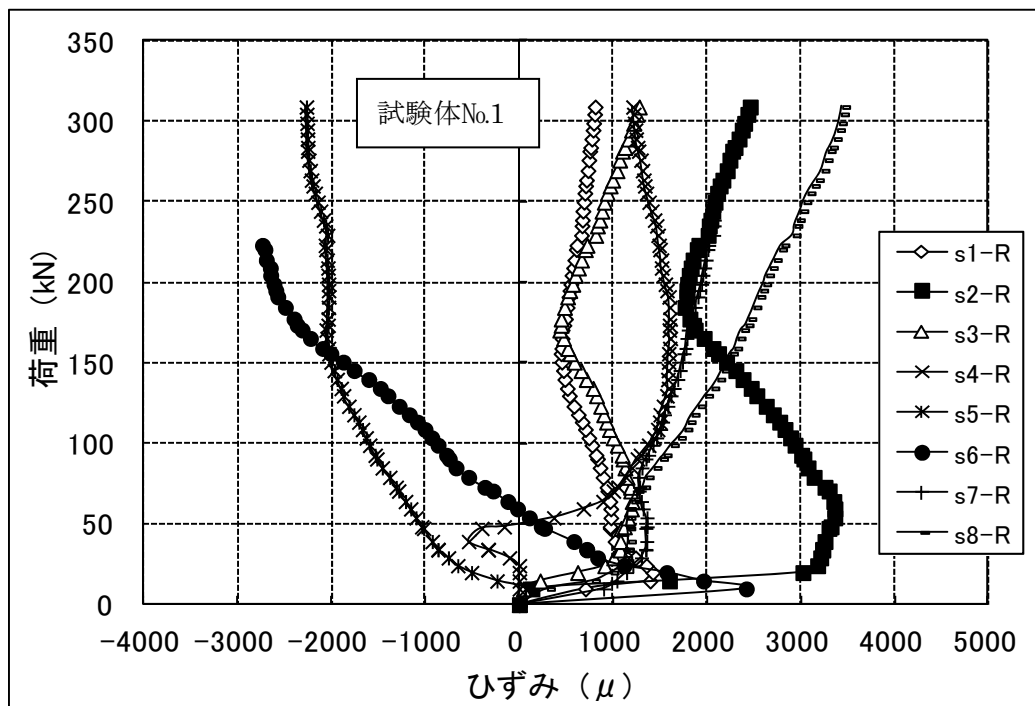


図 132 セメント均質固化体 $5\text{N}/\text{mm}^2$ の治具接触点(固化体内部)における円周方向ひずみ

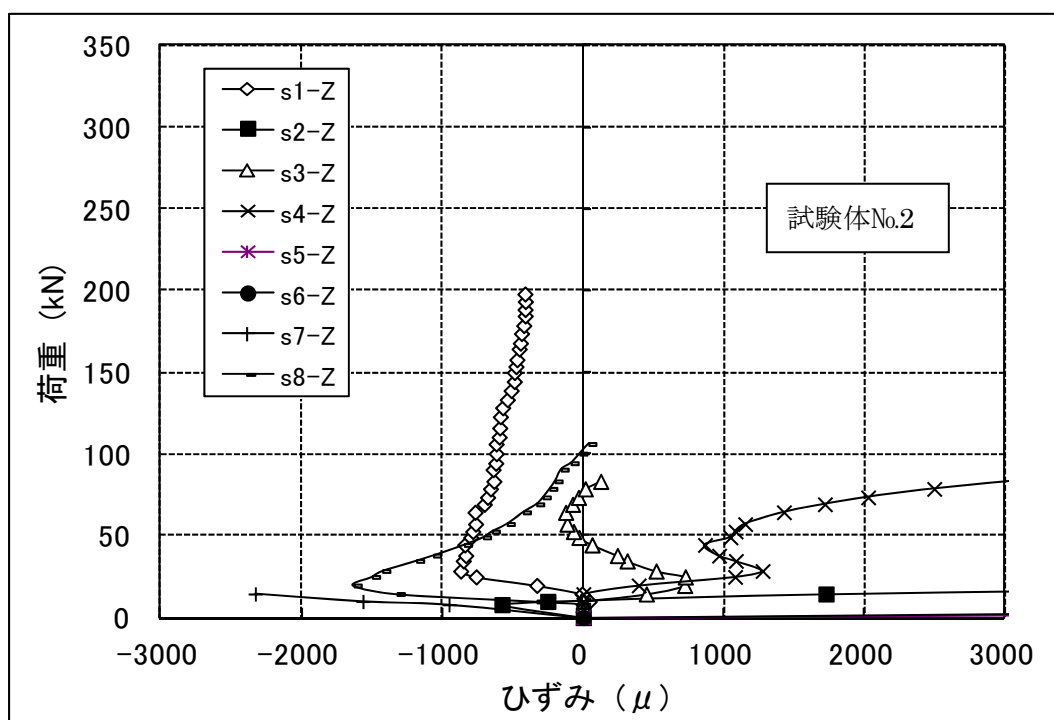
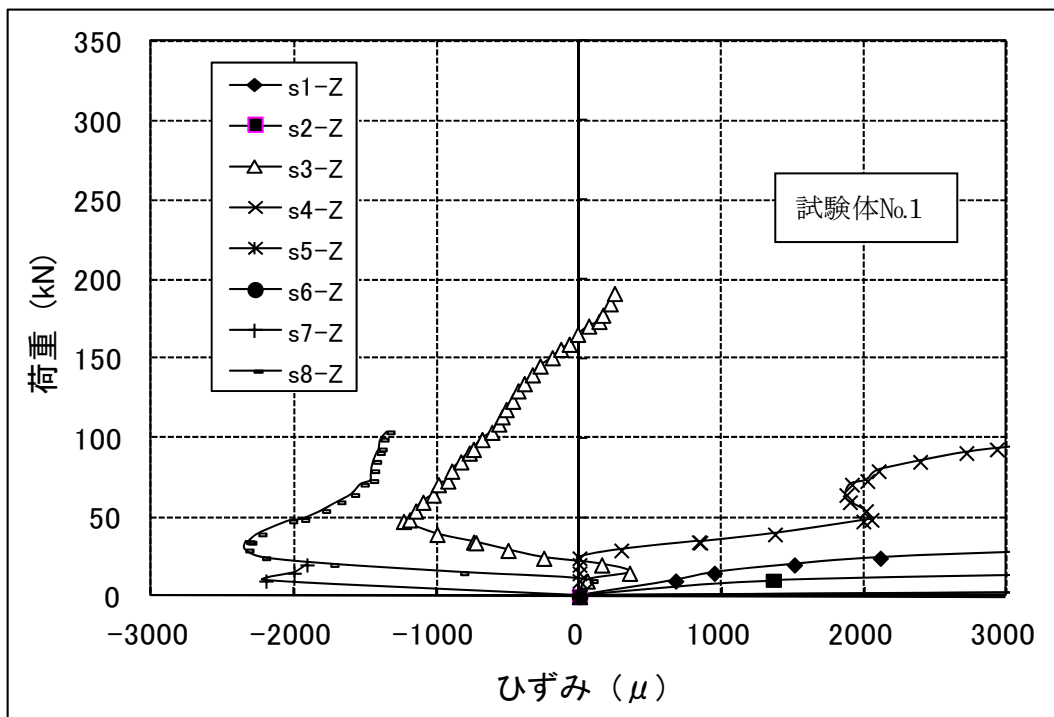


図 133 セメント均質固化体 5N/mm^2 の治具接触点(固化体内部)における軸方向ひずみ

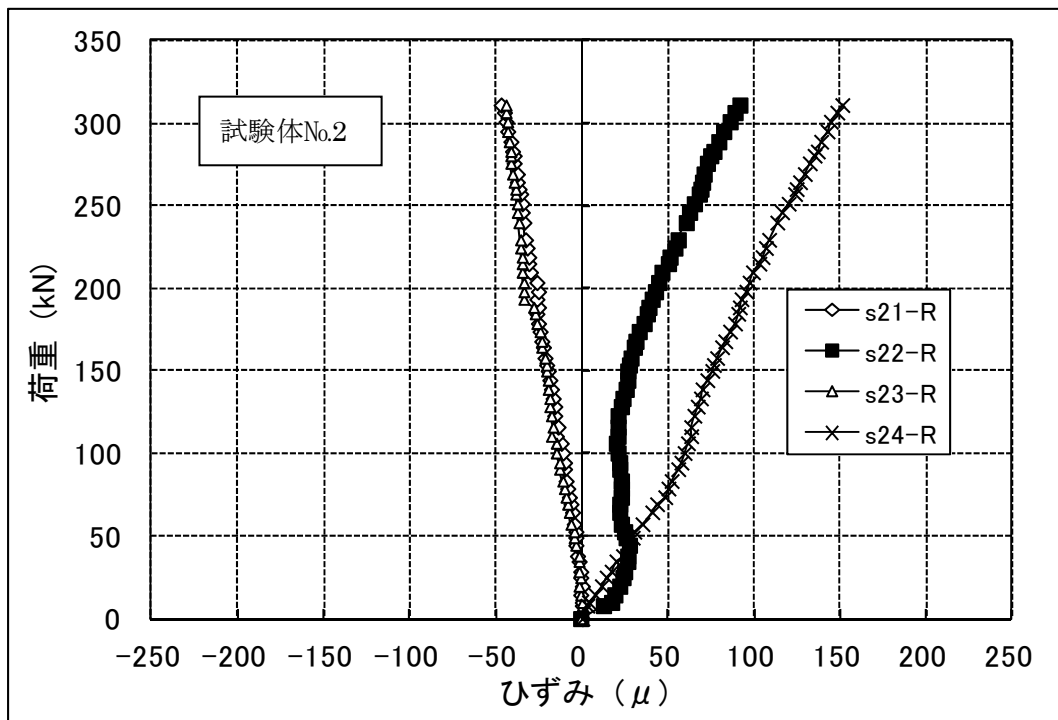
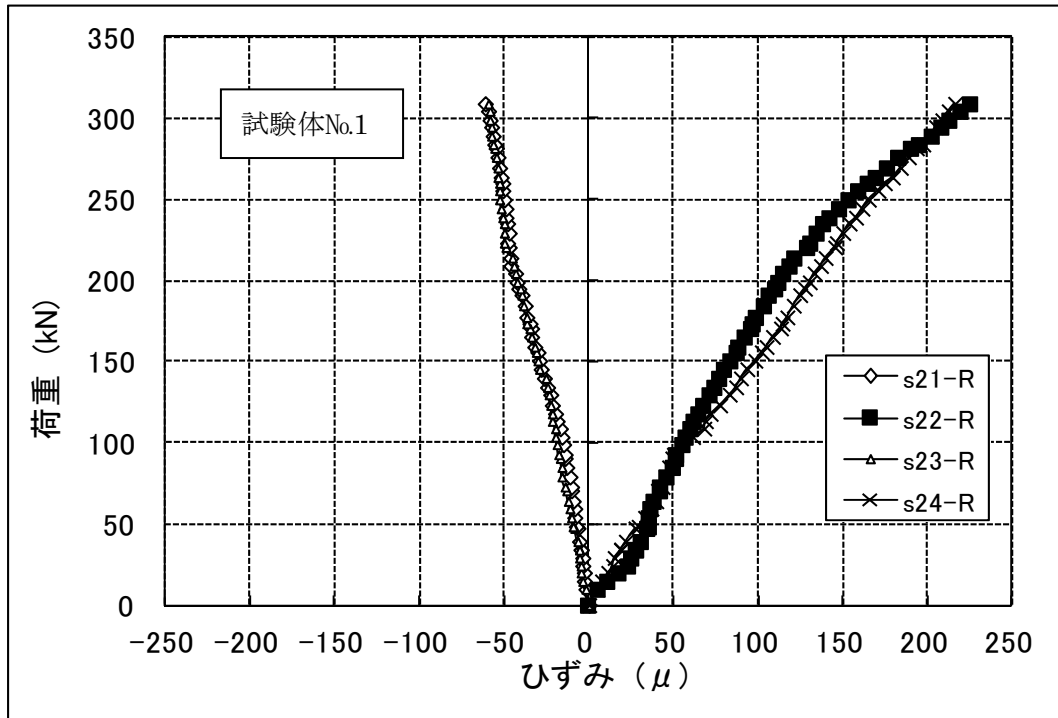


図 134 セメント均質固化体 $5\text{N}/\text{mm}^2$ の治具接触点におけるドラム缶側面の円周方向ひずみ

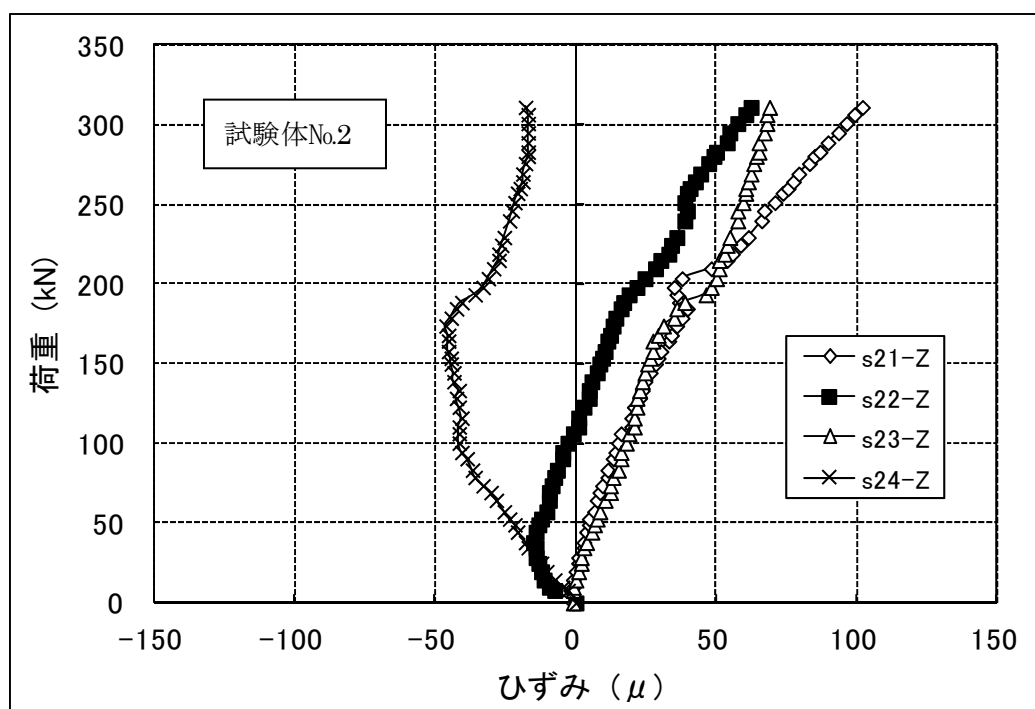
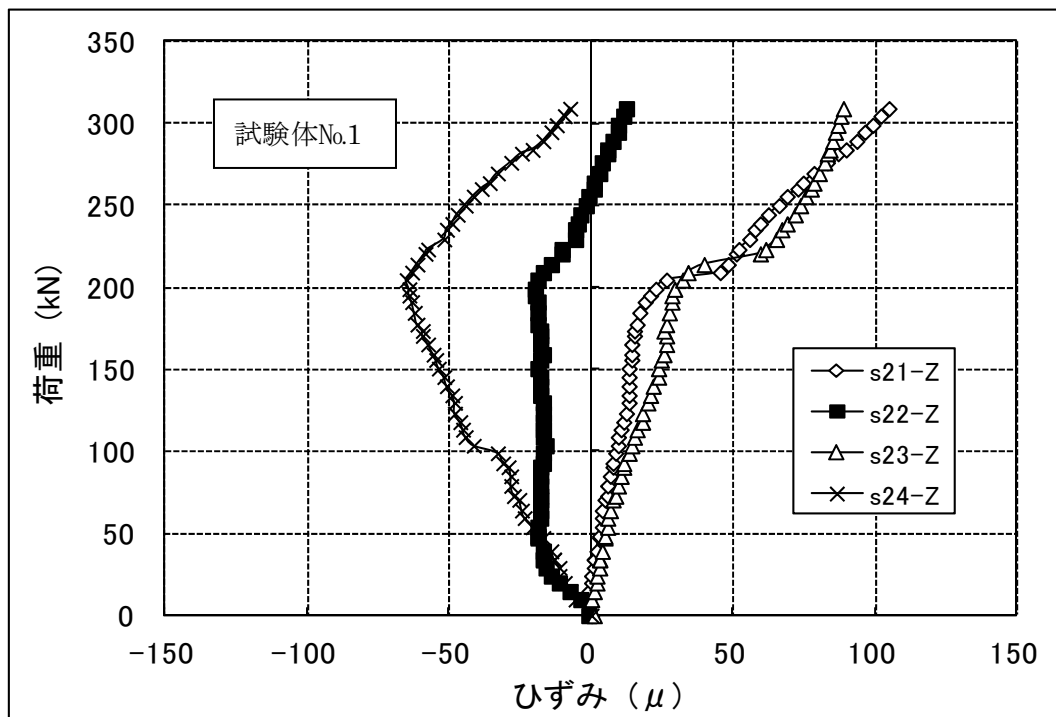


図 135 セメント均質固化体 $5\text{N}/\text{mm}^2$ の治具接触点におけるドラム缶側面の軸方向ひずみ

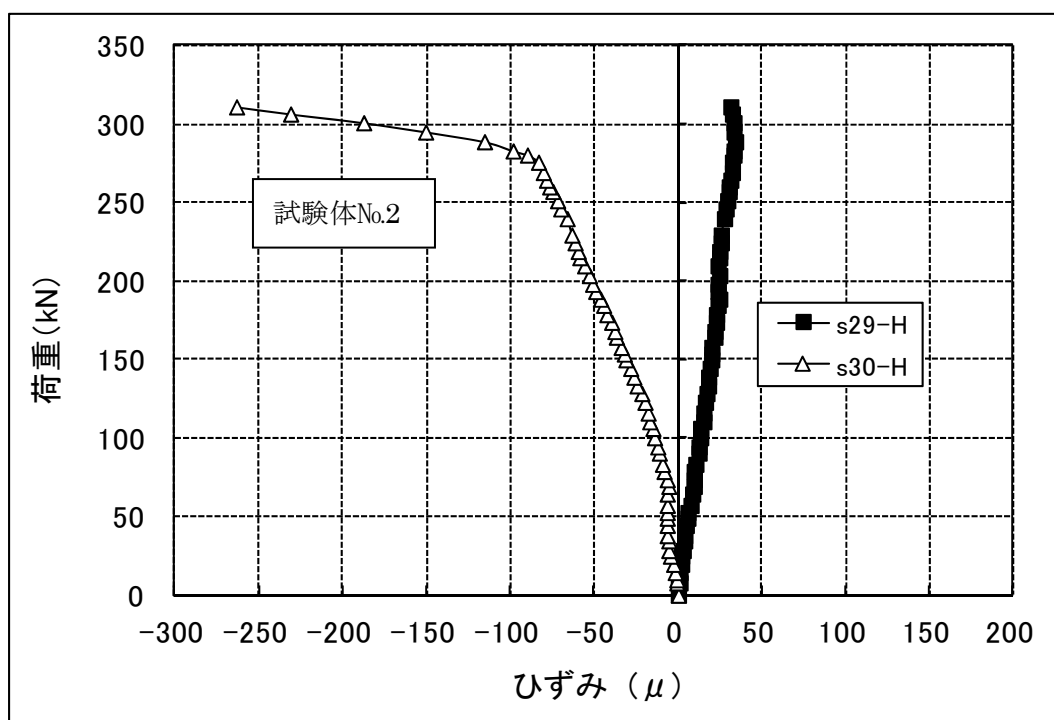
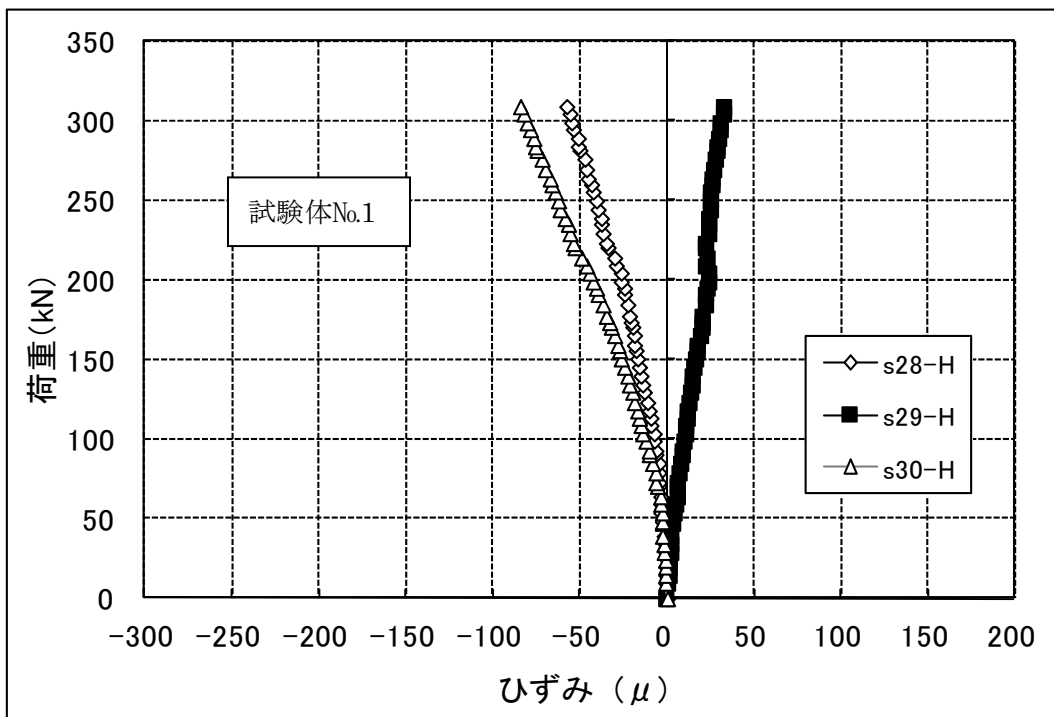


図 136 セメント均質固化体 $5\text{N}/\text{mm}^2$ の固化体頂面における水平方向ひずみ

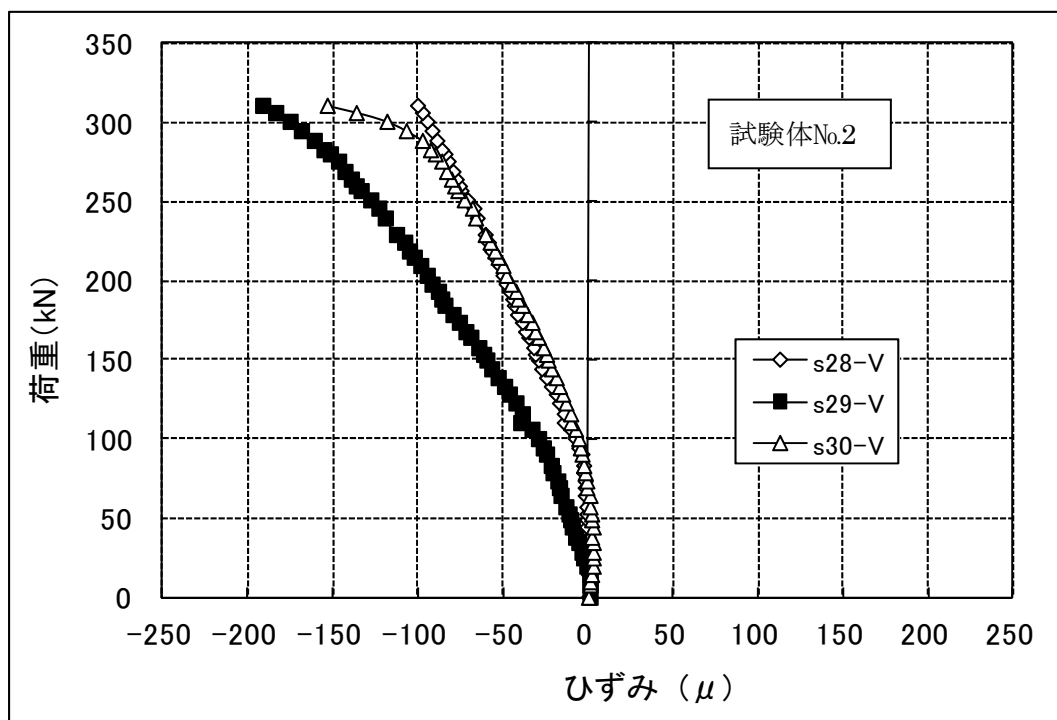
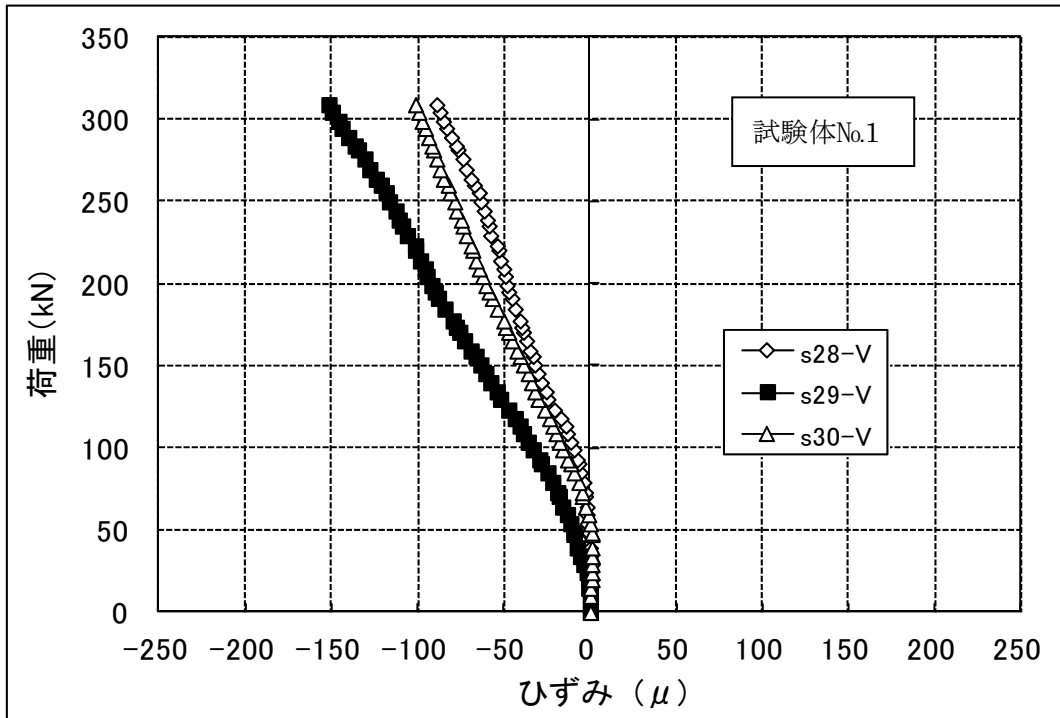


図 137 セメント均質固化体 $5\text{N}/\text{mm}^2$ の固化体頂面における鉛直方向ひずみ

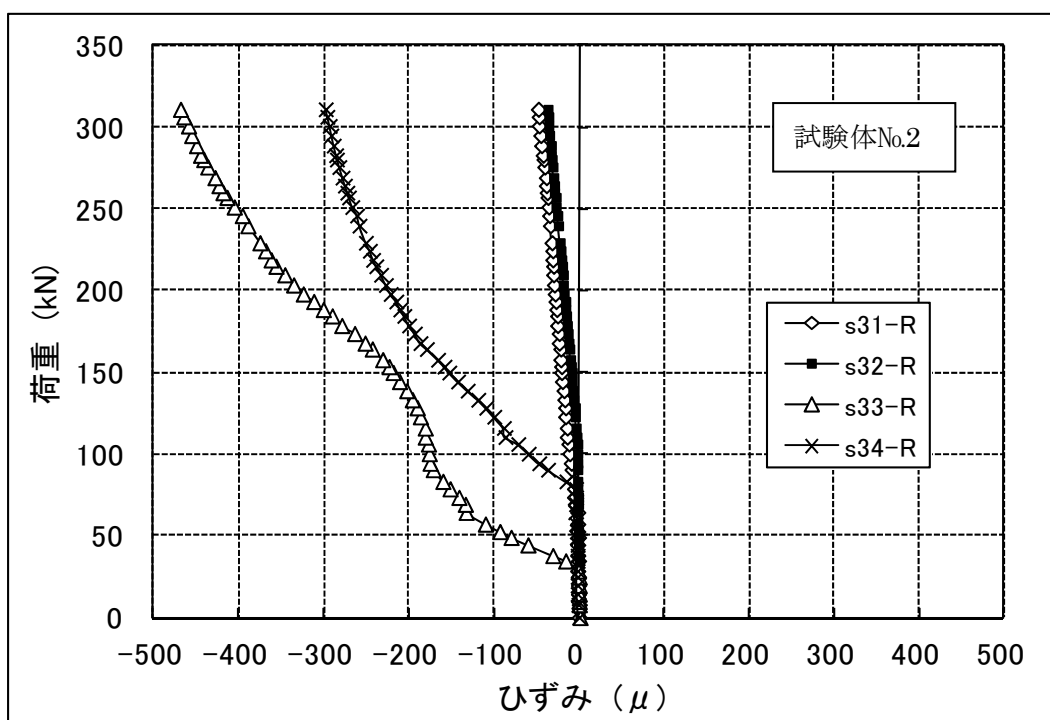
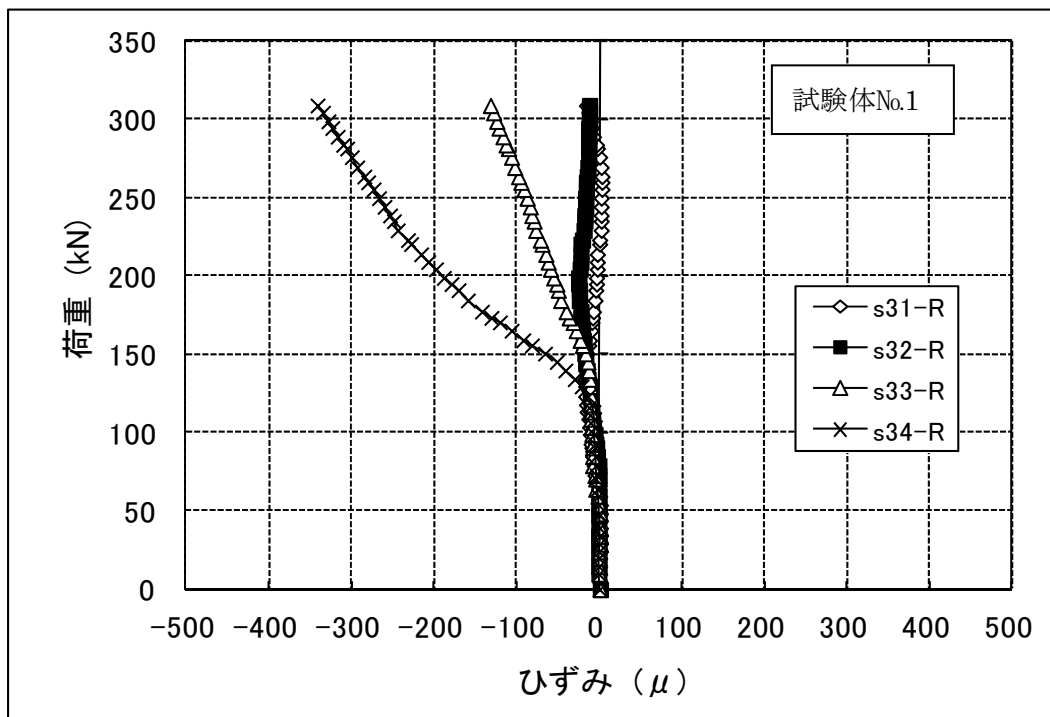


図 138 セメント均質固化体 5N/mm²の蓋付近における円周方向ひずみ

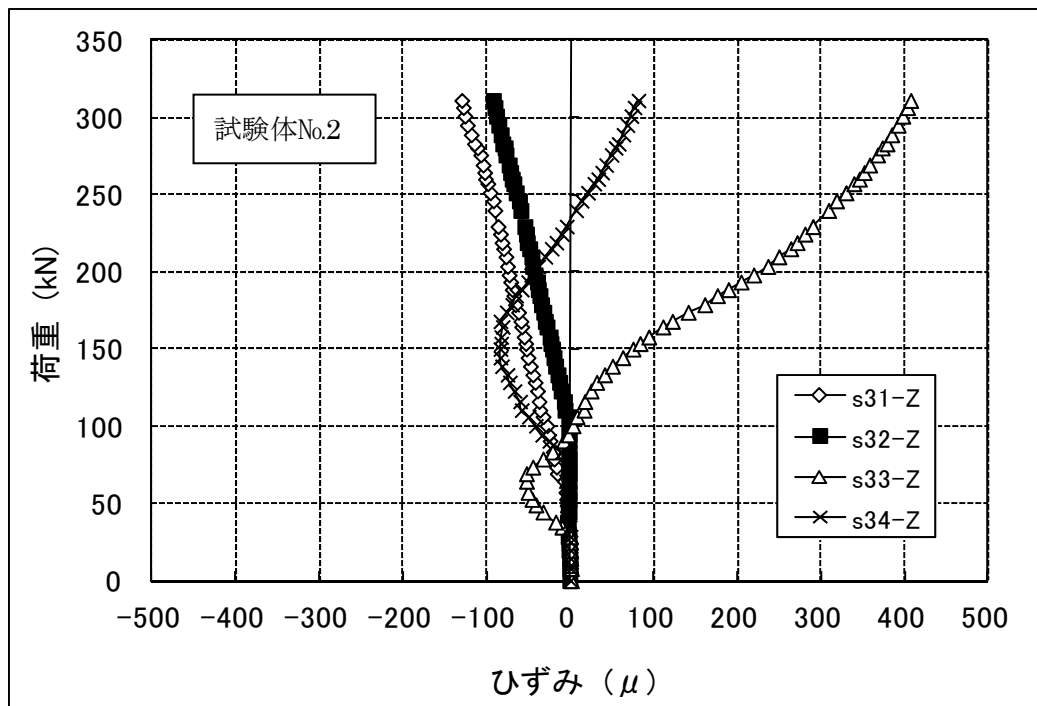
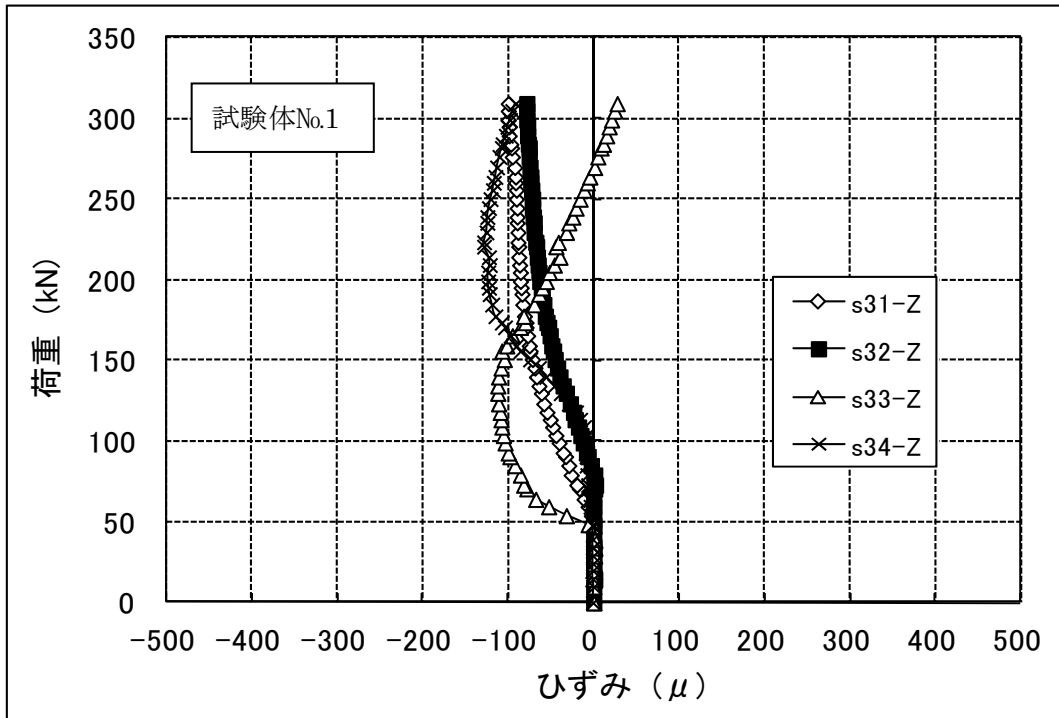


図 139 セメント均質固化体 5N/mm²の蓋付近における軸方向ひずみ

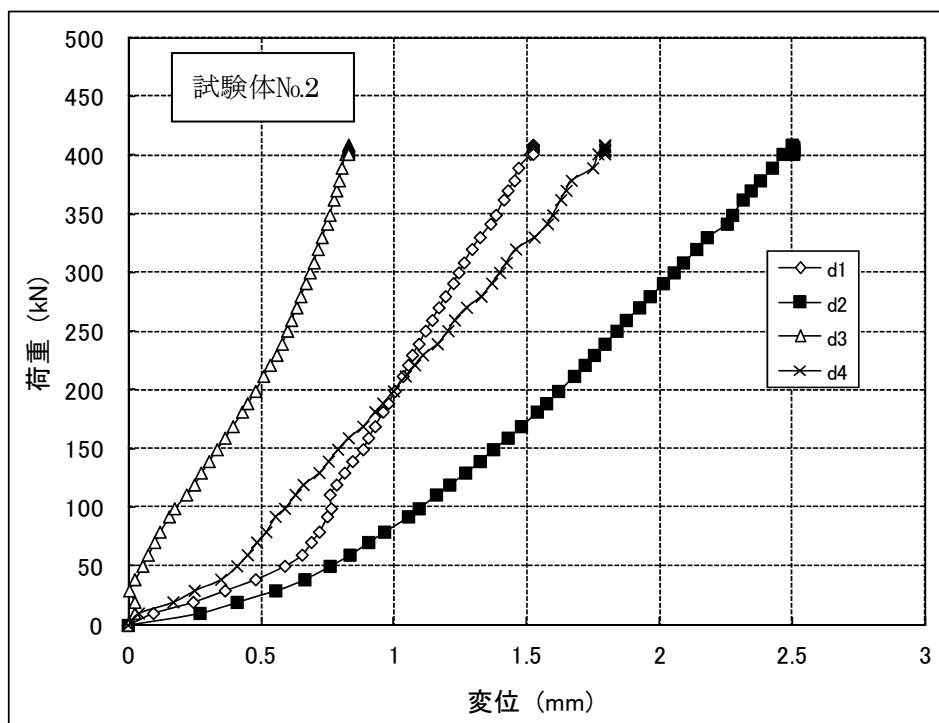
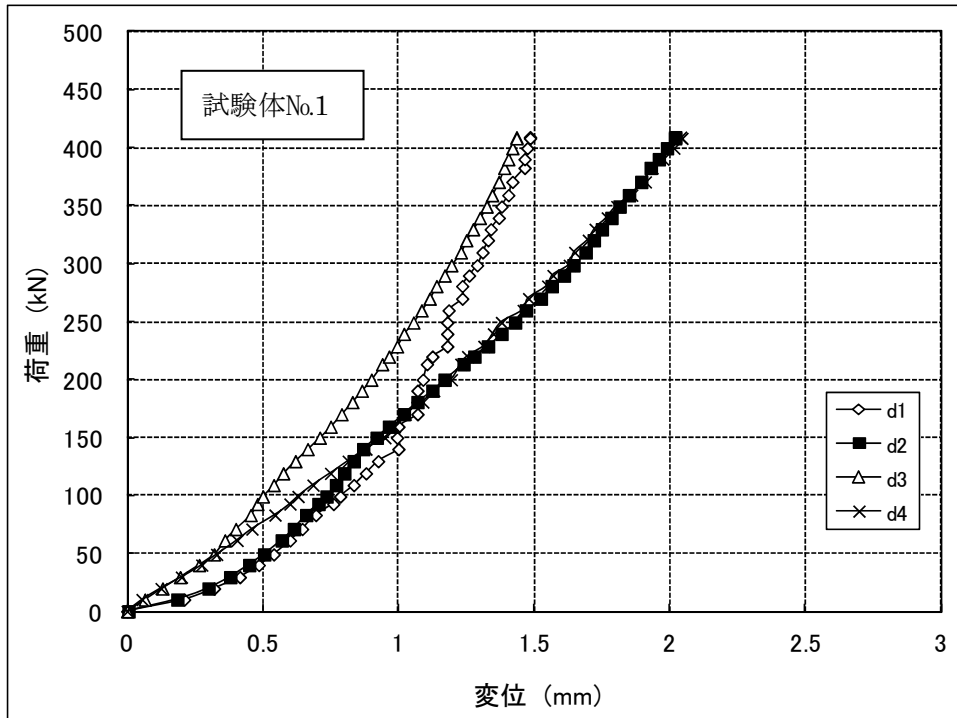


図 140 角型容器の蓋部の辺中央部の鉛直変位

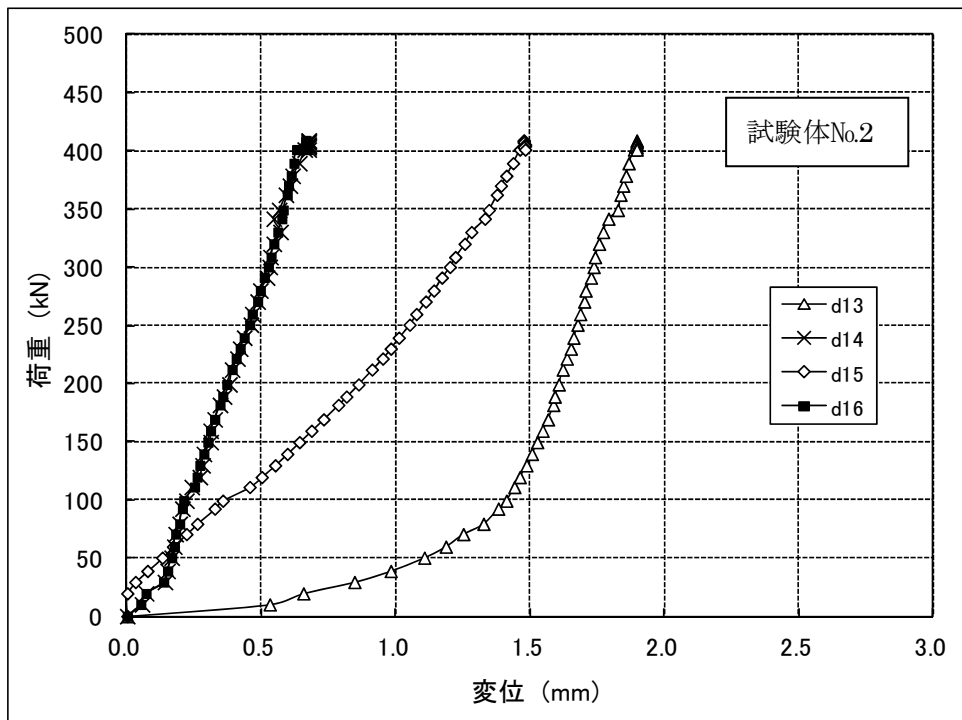
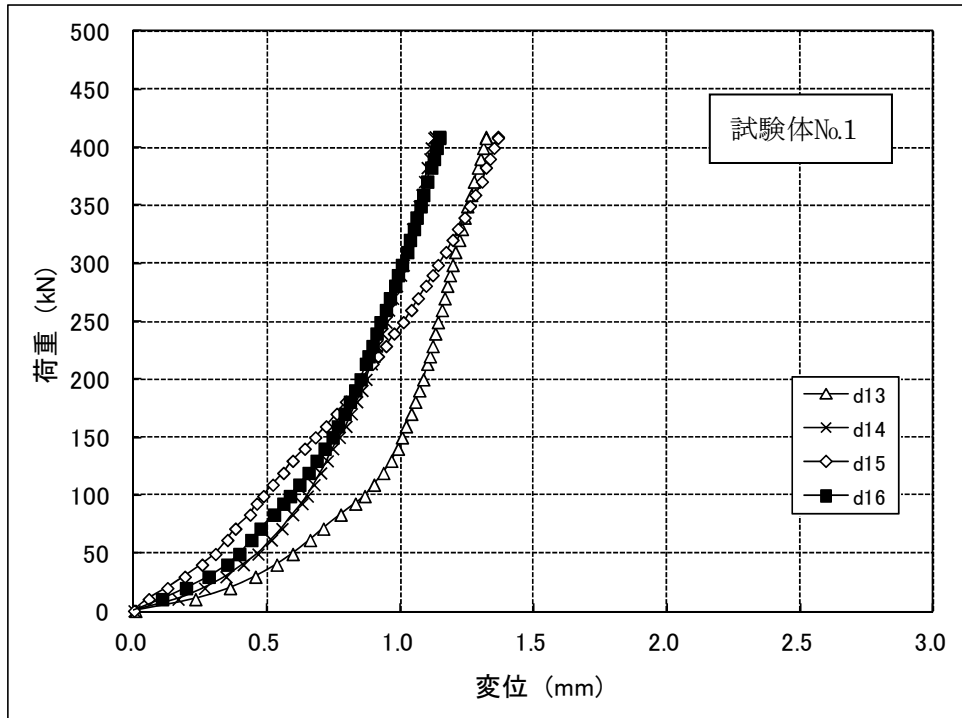


図 141 角型容器の底部の辺中央部の鉛直変位

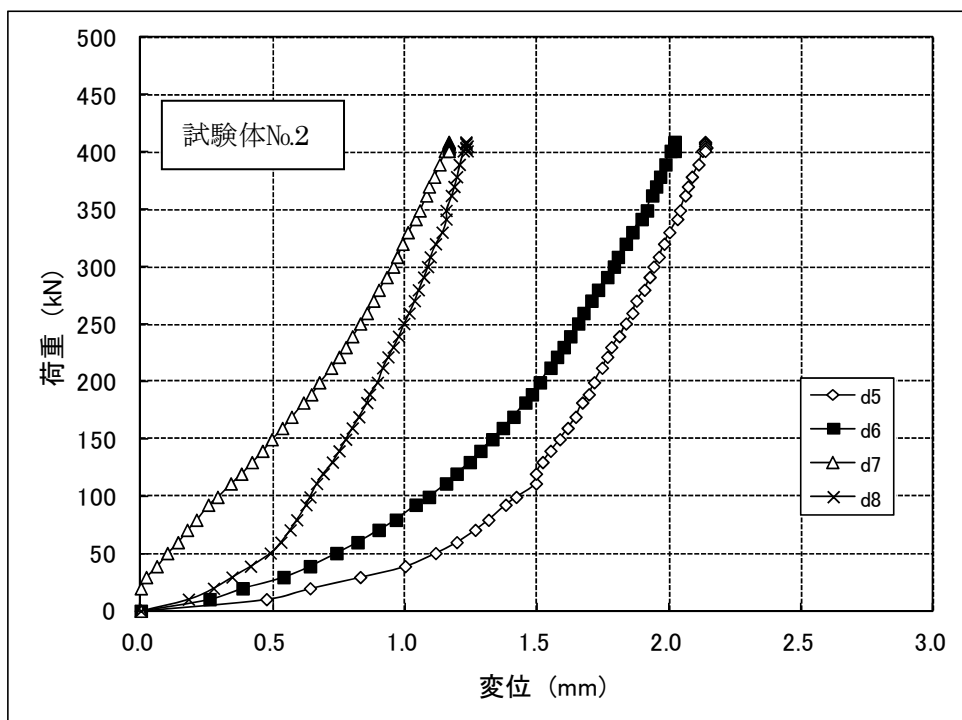
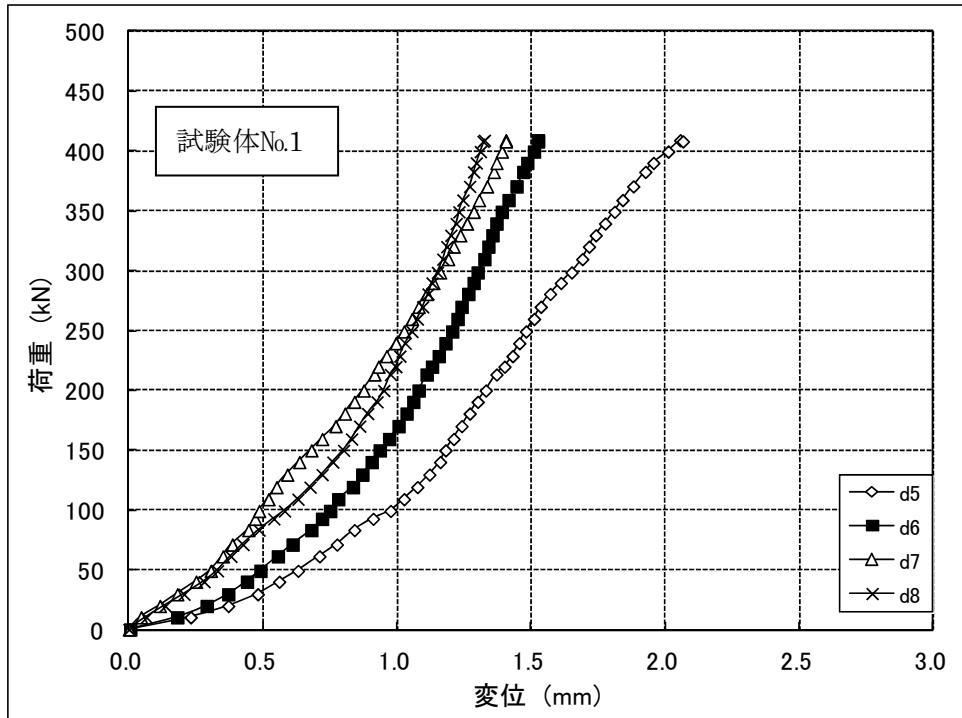


図 142 角型容器の側面部の面中央部の鉛直変位

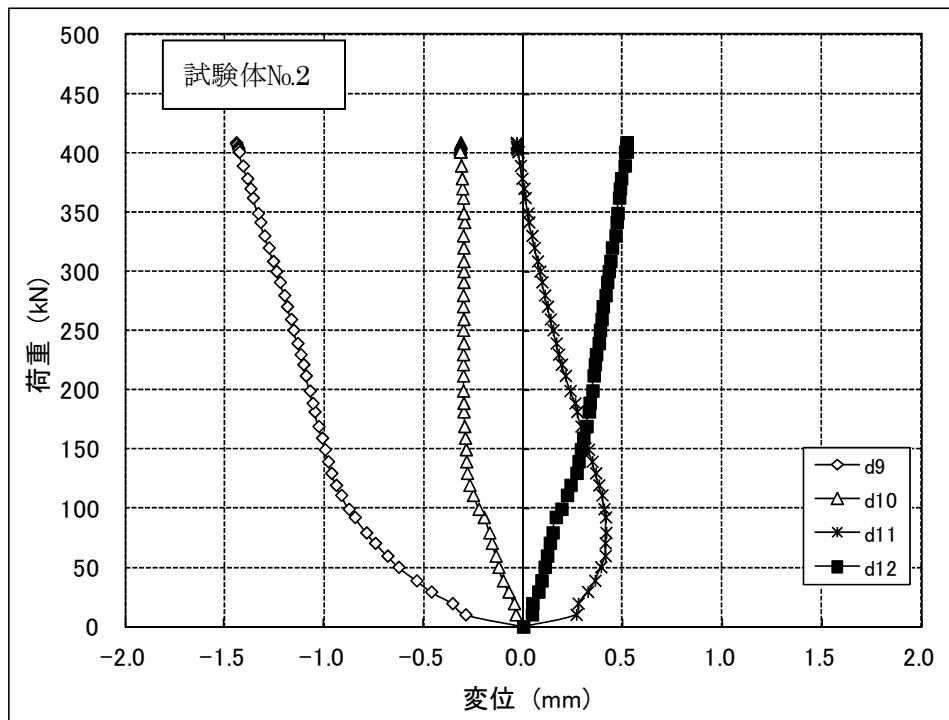
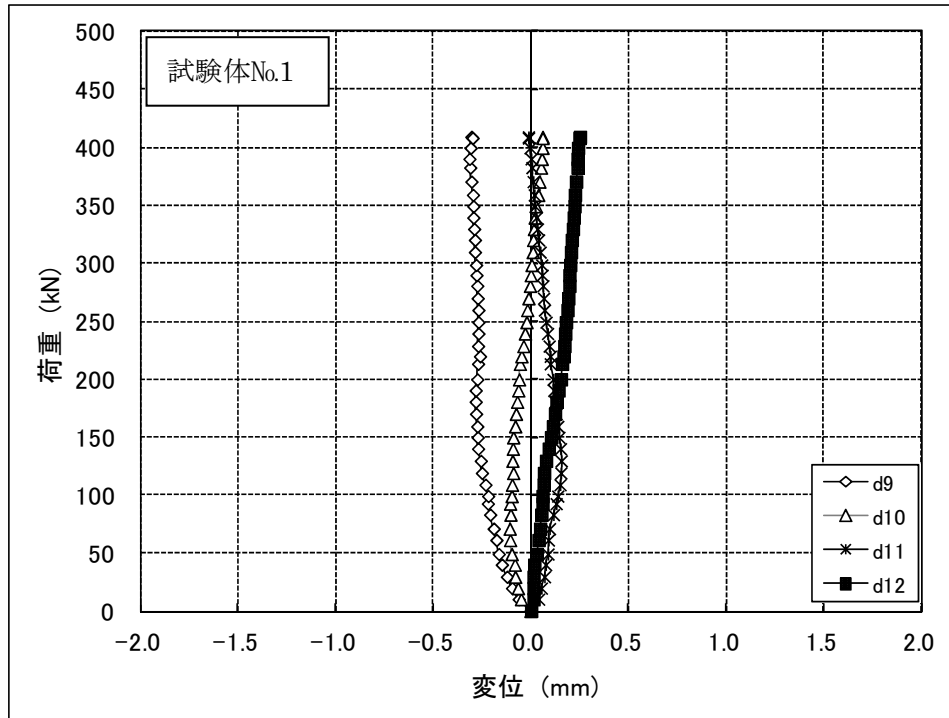


図 143 角型容器の側面部の面中央部の水平変位



図 144 角型容器(試験体No.1、上:容器外観、下:蓋裏面)の裁荷後の状況(1/2)



図 144 角型容器(試験体No.2、上:容器外観、下:蓋裏面)の裁荷後の状況(2/2)

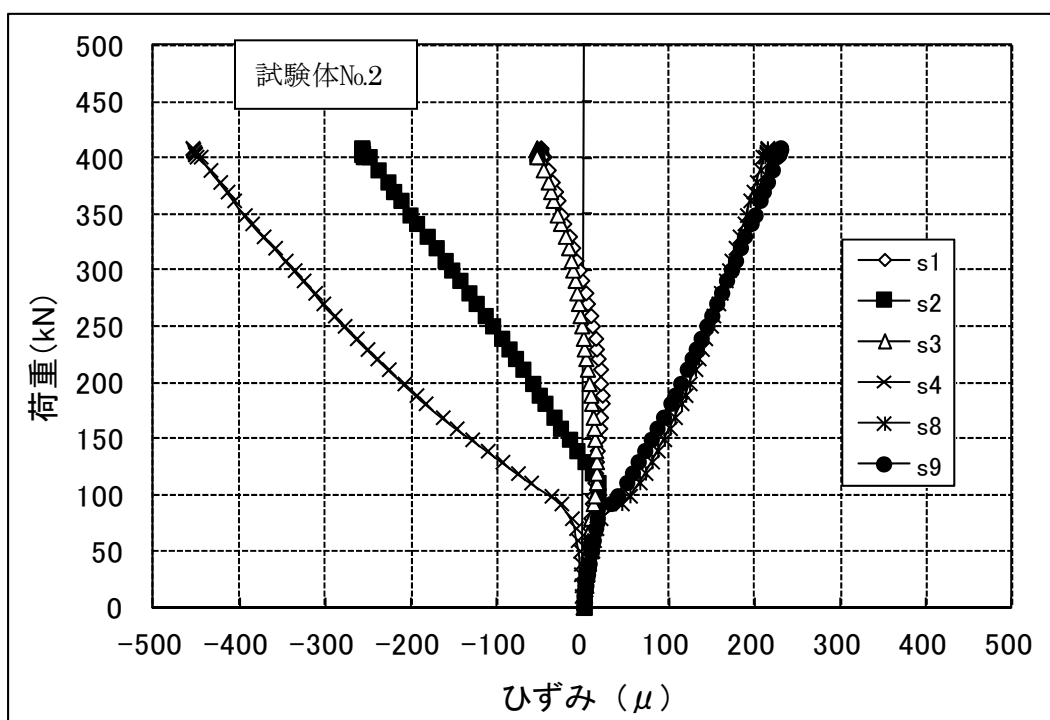
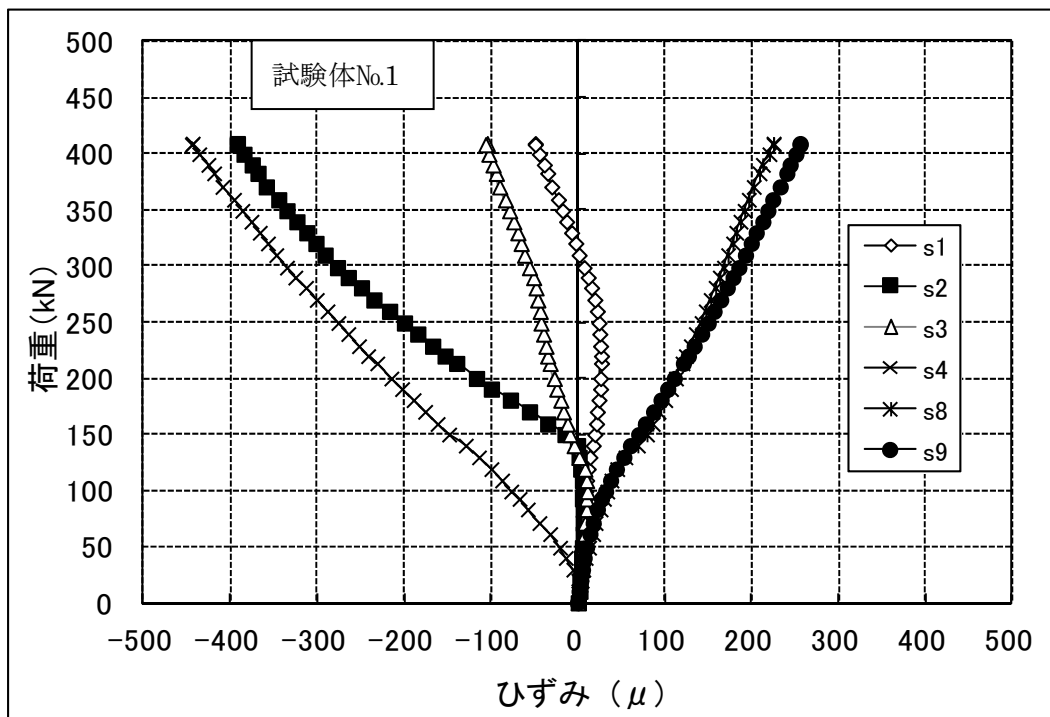


図 145 角型容器蓋部の四辺中央部(s1、s2、s3、s4(鉛直))及び溝型鋼板板上(s8、s9(水平))のひずみ

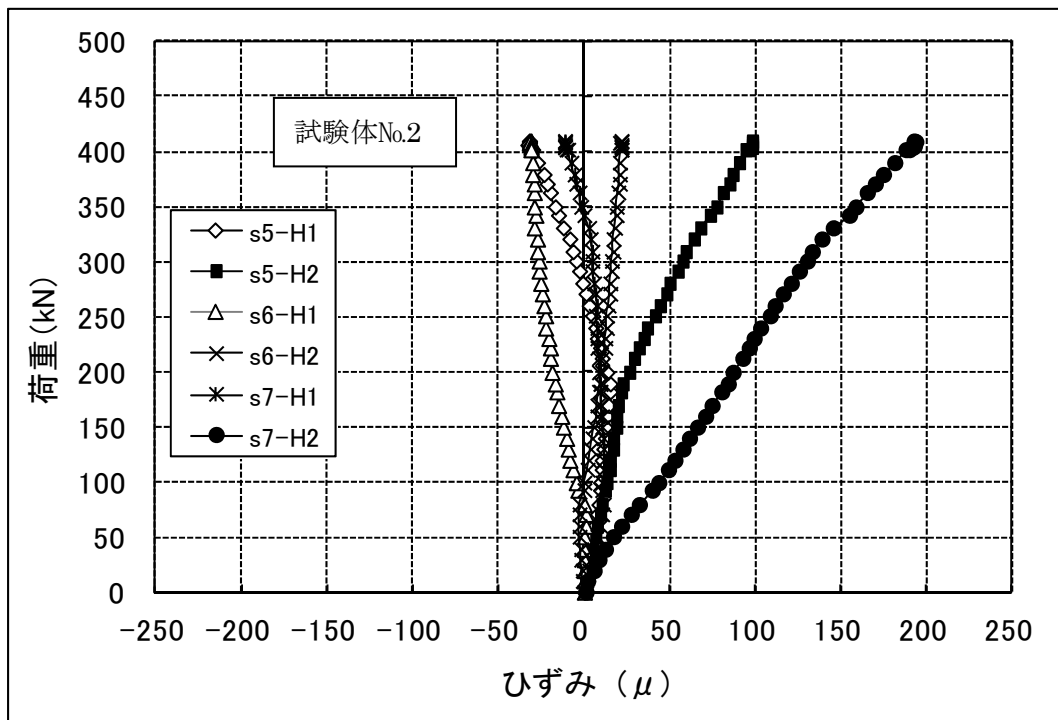
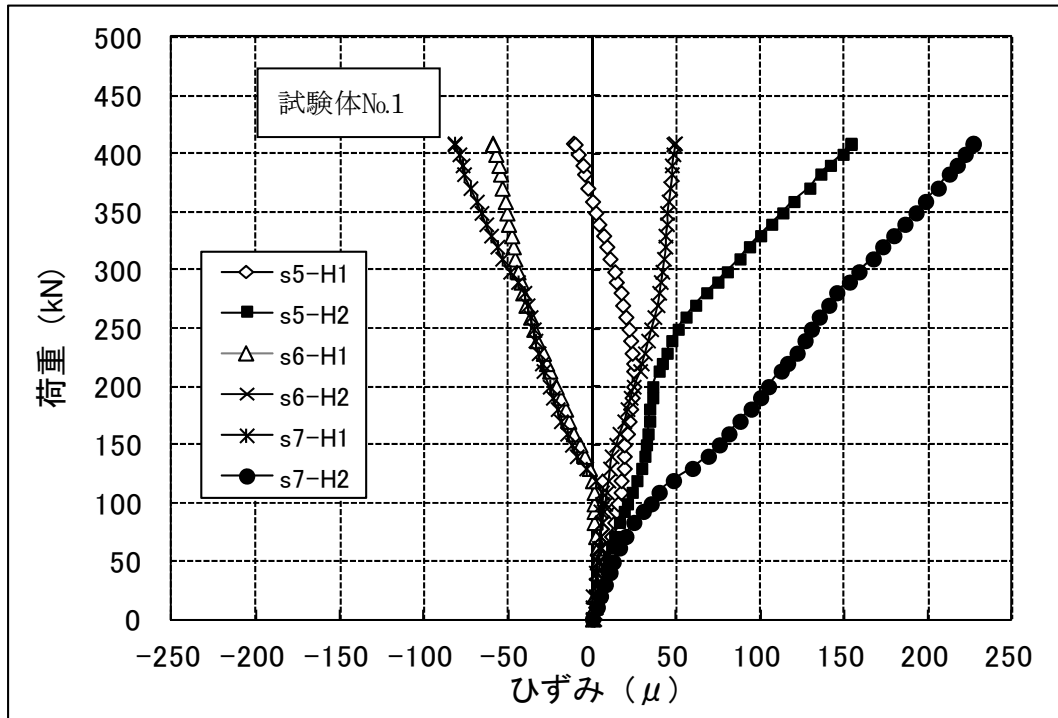


図 146 角型容器蓋部の中央線上(二軸方向)の水平のひずみ

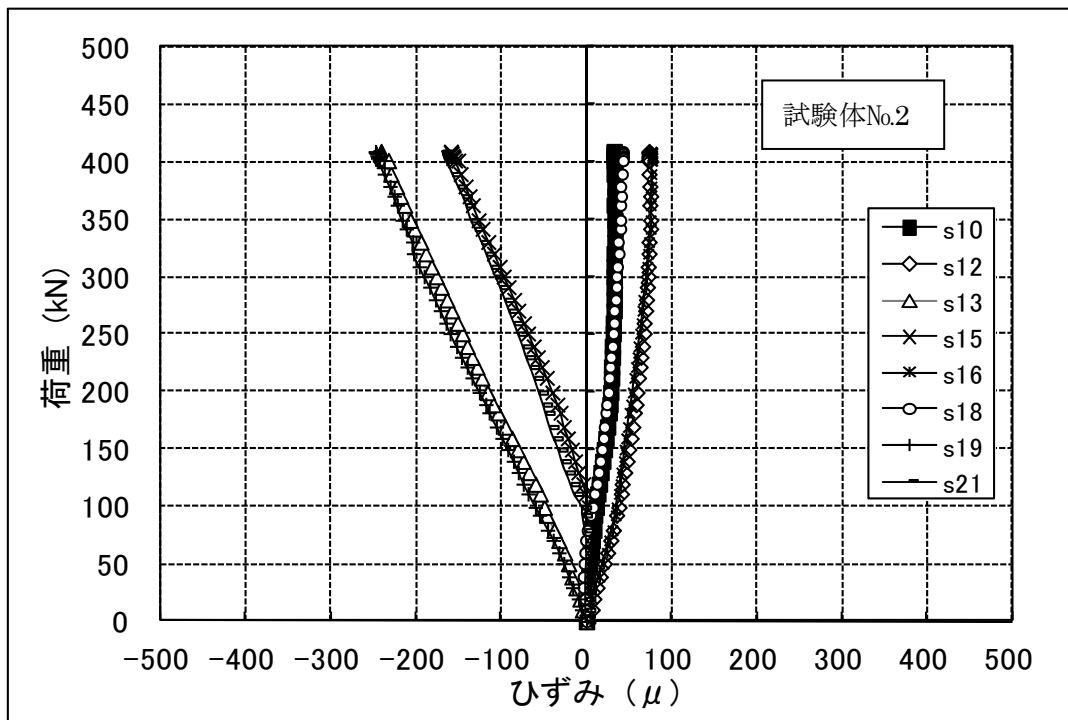
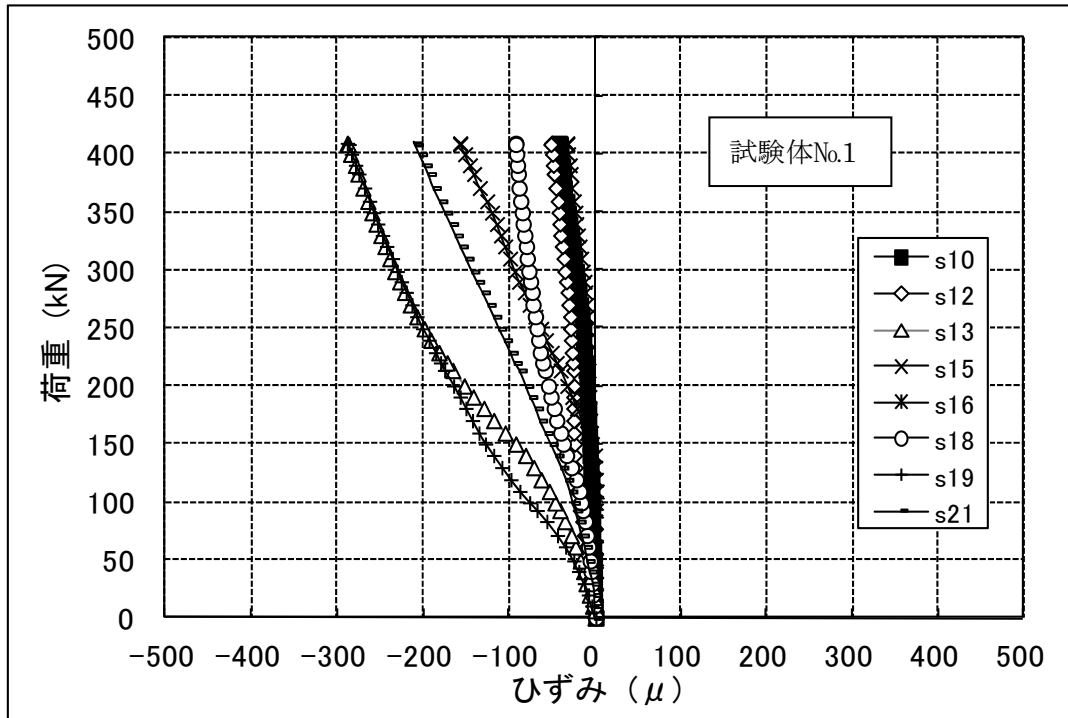


図 147 角型容器の側部縦リブ部の鉛直のひずみ

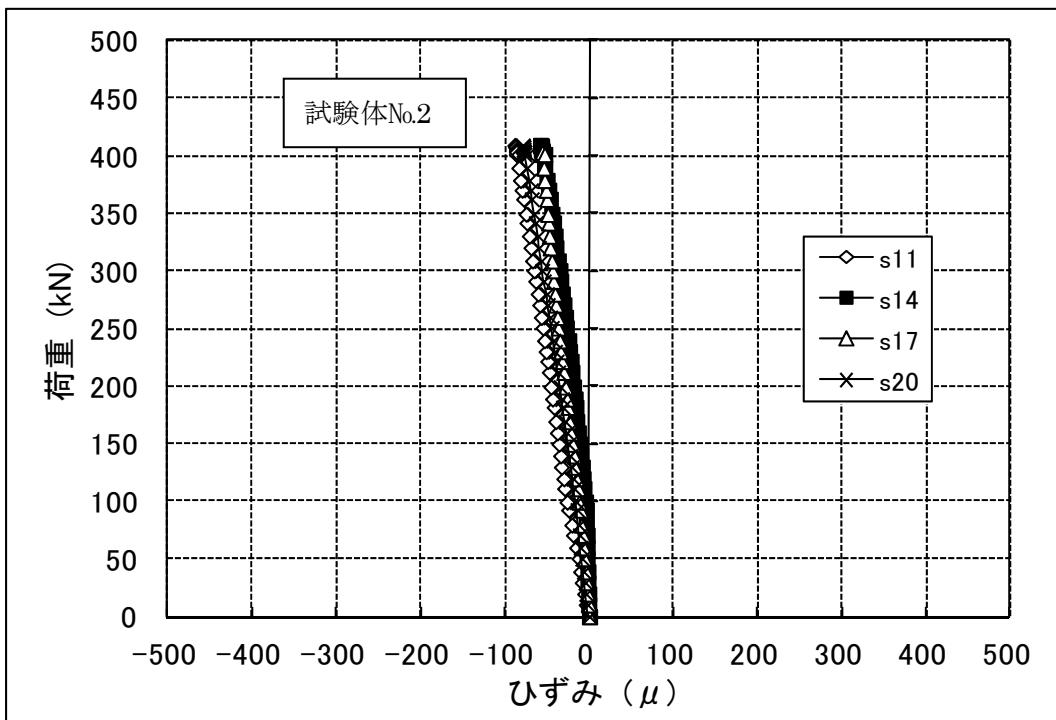
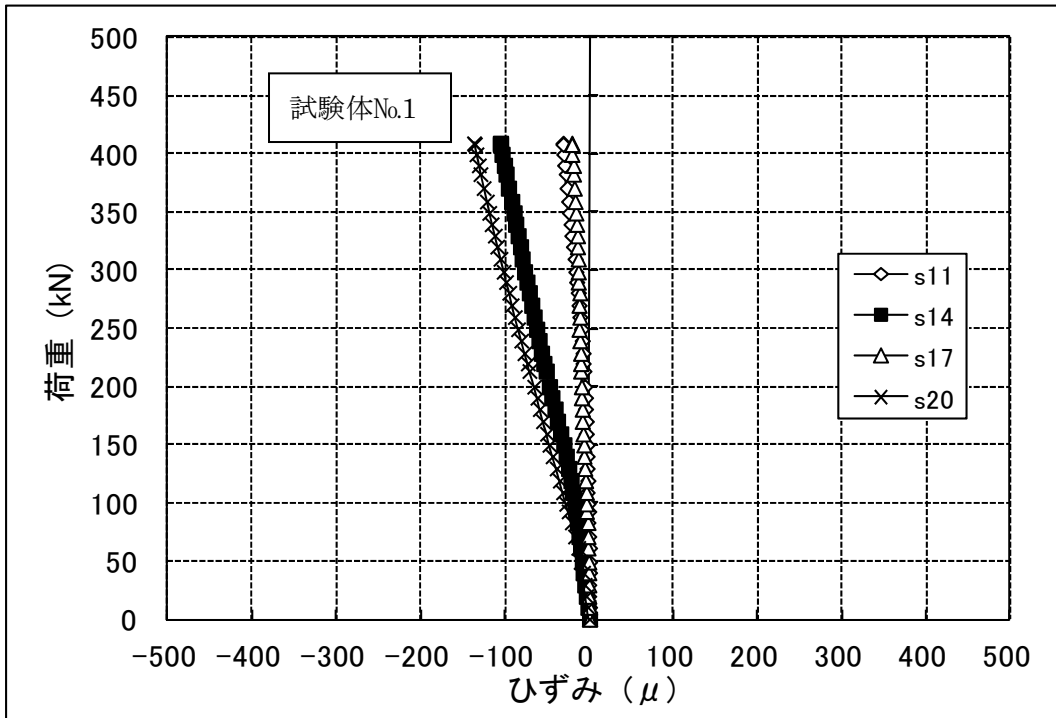


図 148 角型容器の側部中央部の鉛直のひずみ

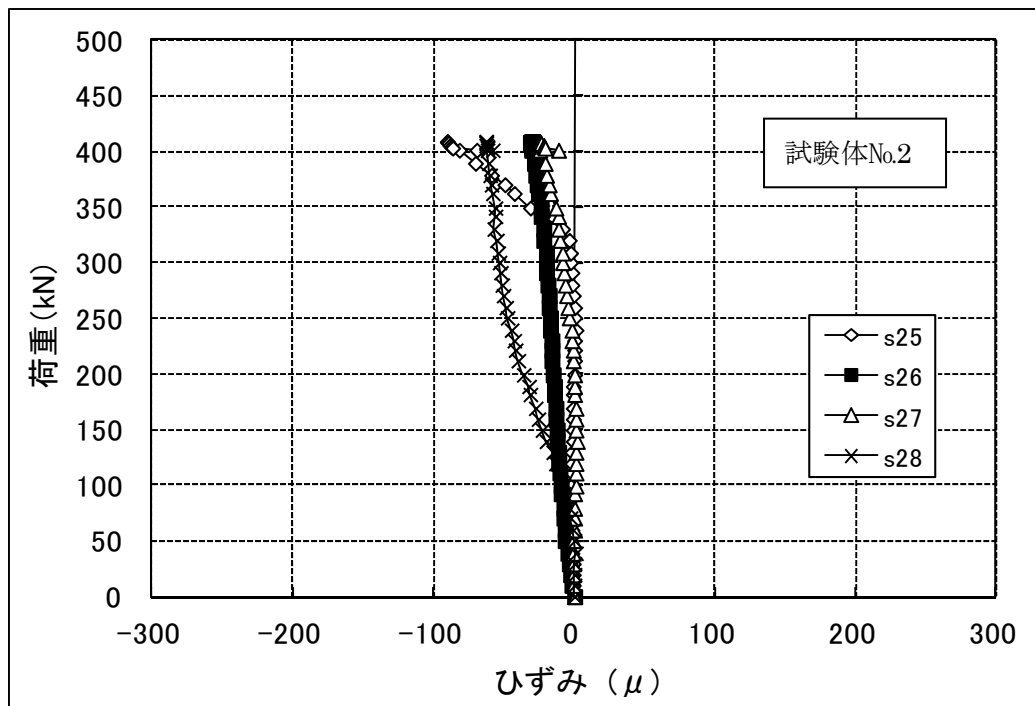
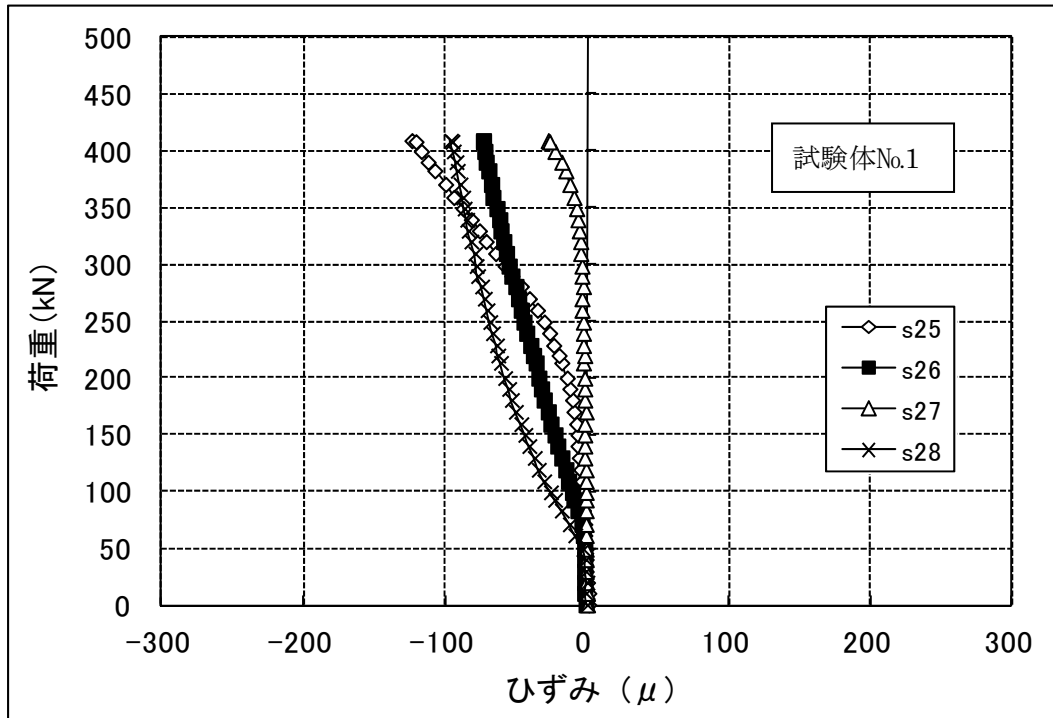


図 149 角型容器の底部中央部の鉛直のひずみ

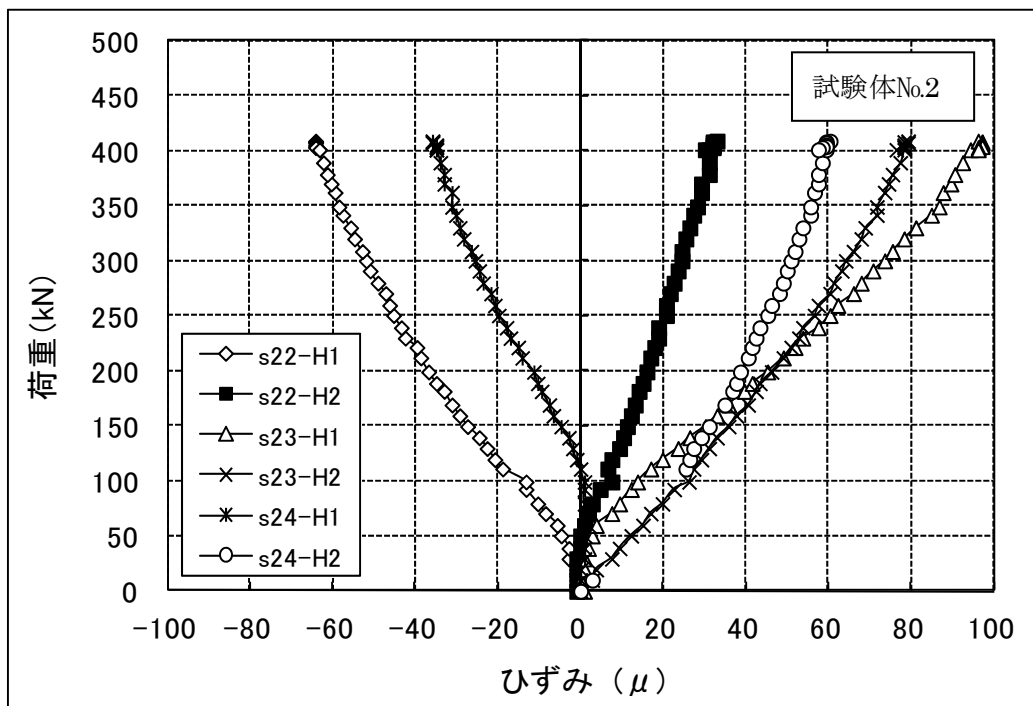
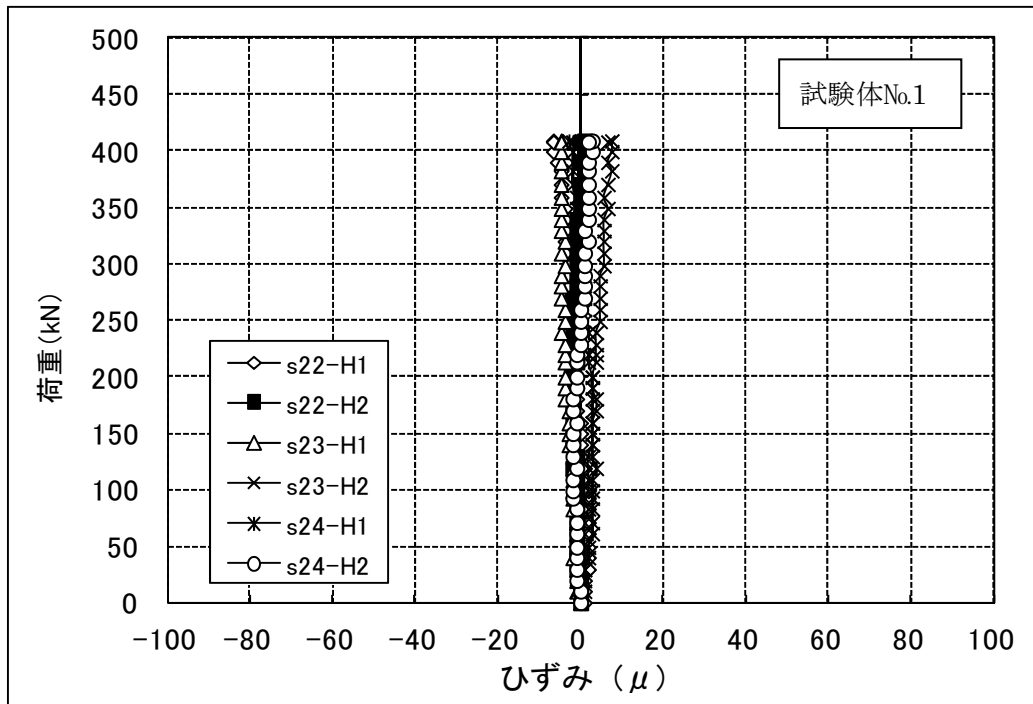


図 150 角型容器の底部中心線上(二軸)の水平のひずみ

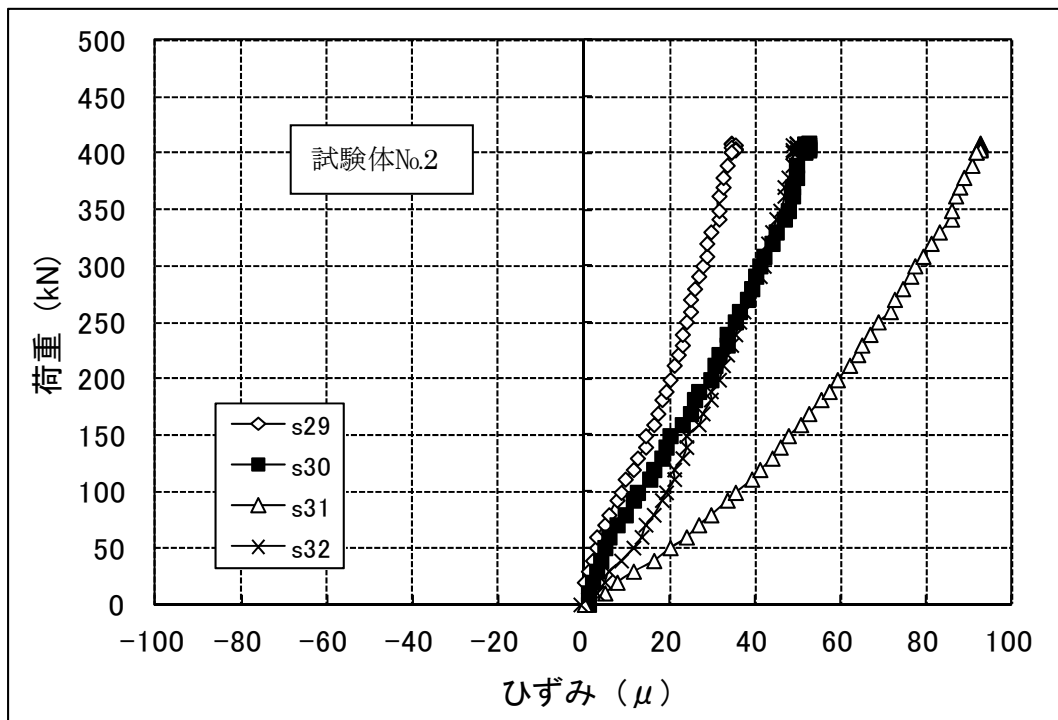
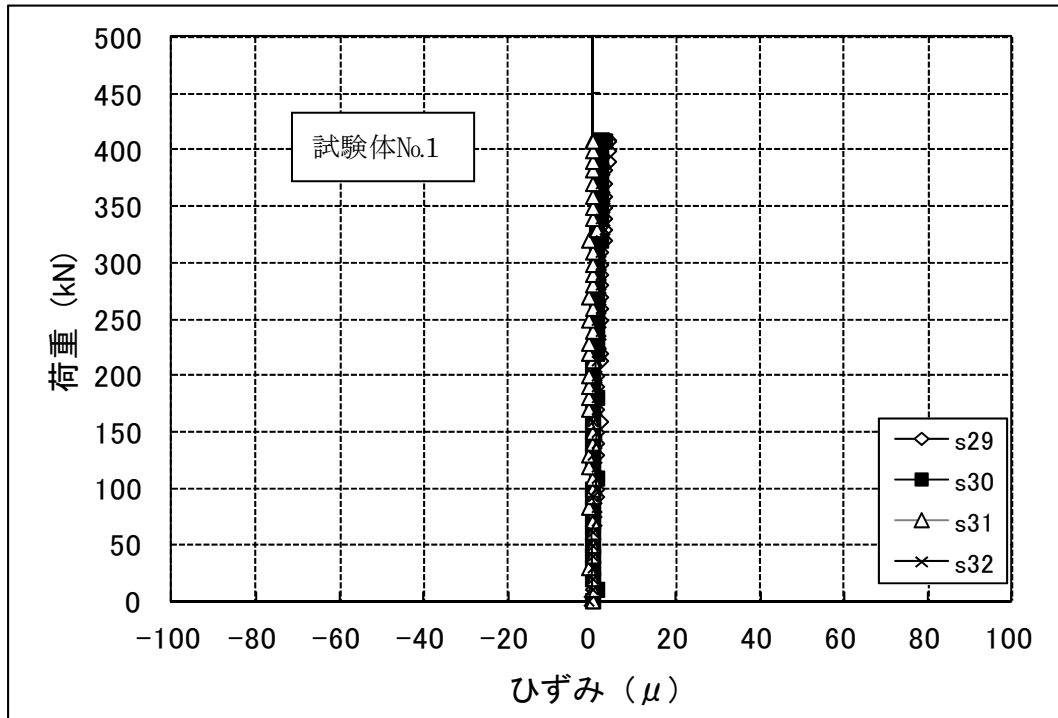
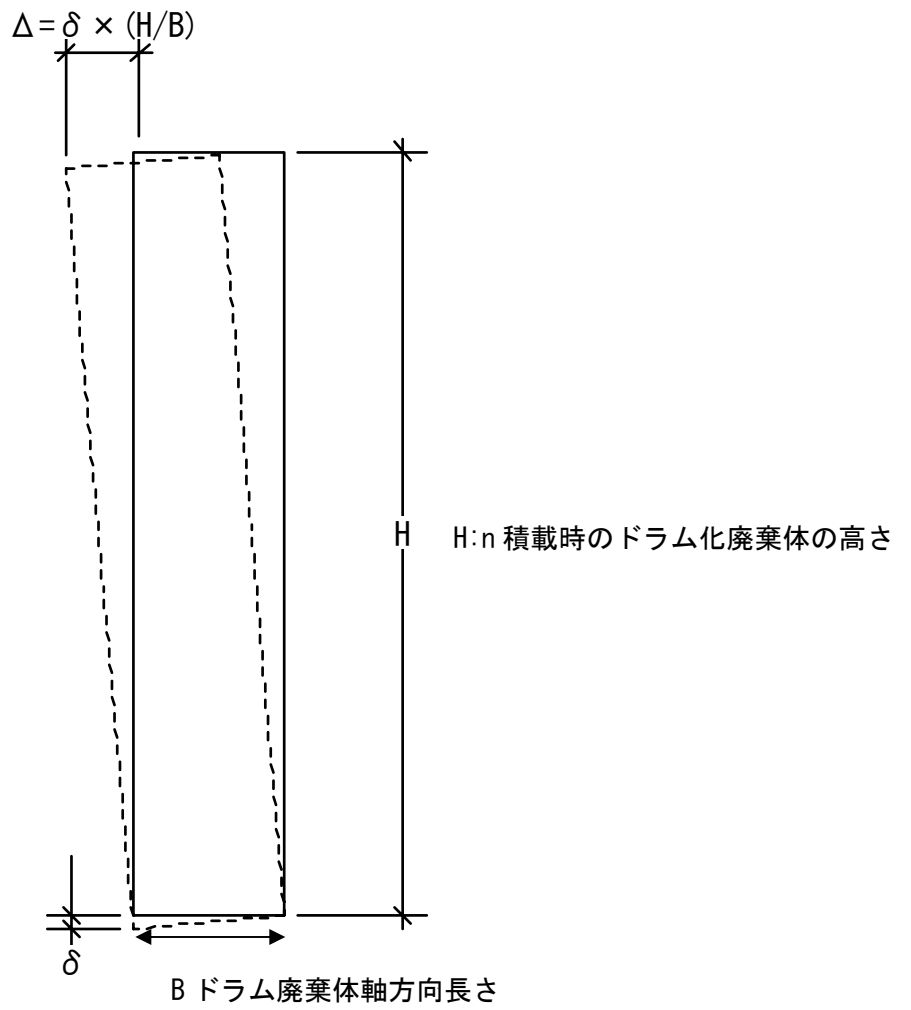


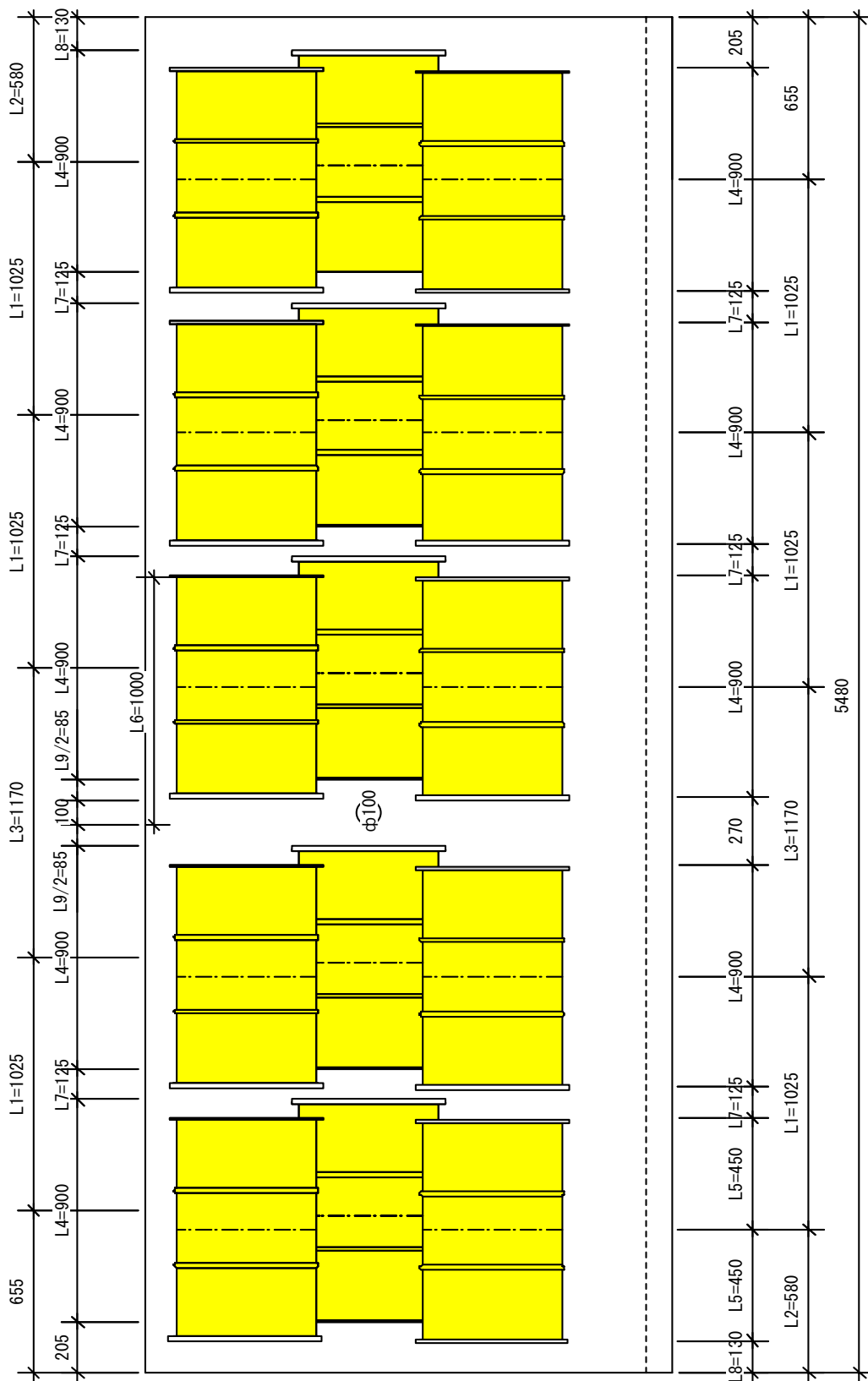
図 151 角型容器の底部の溝型鋼板上の鉛直のひずみ



Δ : 水平変位 (傾斜量)

δ : 廃棄体変位量の差 (チャイム部変位量-蓋部変位量)

図 152 廃棄体の傾斜量評価に係る概念図



ホワイトゾーンなし（長手方向）

図 153 廃棄体の定置条件(単位:mm)

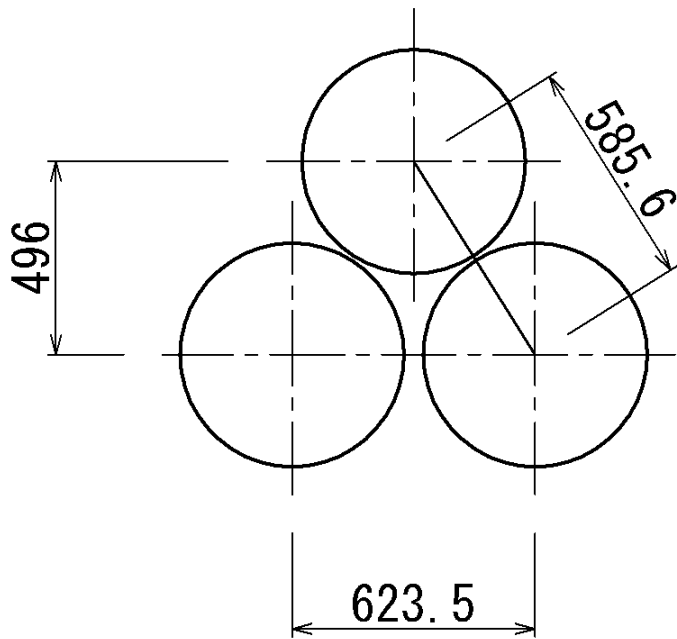


図 154 廃棄体の定置条件(図 153ドラム缶の軸方向から着目[単位:mm])

付録 卷末資料

This is a blank page.

目次

1. 試験概要	185
1.1 目的及び概要	185
1.2 試験日	185
1.3 試験内容	185
1.4 試験方法	187
1.5 計測機器	189
2. 気密性試験結果	190
2.1 測定記録	190
2.2 標準状態での評価	192
2.3 気密性試験時の空気の比重量	194
2.4 漏れ検査剤による気泡確認	195
3. まとめ	195

図目次

図 1-1 供試体写真（角形容器）	185
図 1-2 供試体図面（角形容器）	186
図 1-3 試験フロー	187
図 1-4 気密性試験装置	188
図 2-1 検査終了時圧力(No.1)	191
図 2-2 検査終了時圧力(No.2)	191
図 2-3 気泡確認状況(No.1)	195
図 2-4 気泡確認状況(No.2)	195

表目次

表 1-1 電動エアコンプレッサー	188
表 1-2 計測装置の仕様一覧	189
表 2-1 測定記録	190
表 2-2 標準状態での供試体内圧力	193
表 2-3 気密性試験時の空気比重	194

This is a blank page.

1. 試験概要

1.1 目的及び概要

浅地中埋設処分施設に埋設する廃棄体等に使用する非定型廃棄物収納容器を対象とした気密試験を行い、圧力降下を実測、収集することにより、現在国により廃棄体容器として認められている 2000 ドラム缶 (1 種 H 級) と同等以上の密封性を有することを担保するための定量的な評価を行うことを目的とする。

1.2 試験日

試験日を以下に示す。

試験日 平成 23 年 7 月 20 日 (水)

1.3 試験内容

被試験対象体

被試験対象体 (以下「供試体」という。) は、角形容器 (S-1 型 1m^3) 2 体である。供試体は、
載荷試験で 400kN まで載荷した後のものである。供試体の写真を図 1-1、図面を
図 1-2 に示す。



図 1-1 供試体写真 (角形容器)

1.4 試験方法

供試体（角形容器）の気密性試験は JIS で規定されていないので、ドラム缶の気密試験 [JIS Z 1600 : 2006] を参考にして試験方法を決定した。試験は、温度変化の少ない室内（25℃で設定）で実施し、図 1-3 に示す試験フローに従って行った。

気密性試験は、図 1-4 に示す気密性試験装置を用いて実施した。また、圧力ゲージは、フルスケールが 100kPa の圧力ゲージを 2 個（正、副）使用した。圧縮空気は表 1-1 に示す電動エアコンプレッサーを用いて充填した。

供試体に圧縮空気を充填する際、供試体の膨張等により、正確に 20kPa とすることが困難であったので、供試体内の圧力を 30 kPa 程度まで上げ、5 分間その圧力を保持した後、正確に 20kPa まで降圧する方法とした。

圧力の保持時間は 30 分とし、5 分ごとに圧力ゲージの圧力、温度、相対湿度及び気圧を測定した。

圧力を 30 分間保持した後に、供試体の上蓋のパッキン付近、注入口付近に漏れ検査剤（リークチェック：タセト）を塗布し、連続的な気泡の発生の有無を確認した。

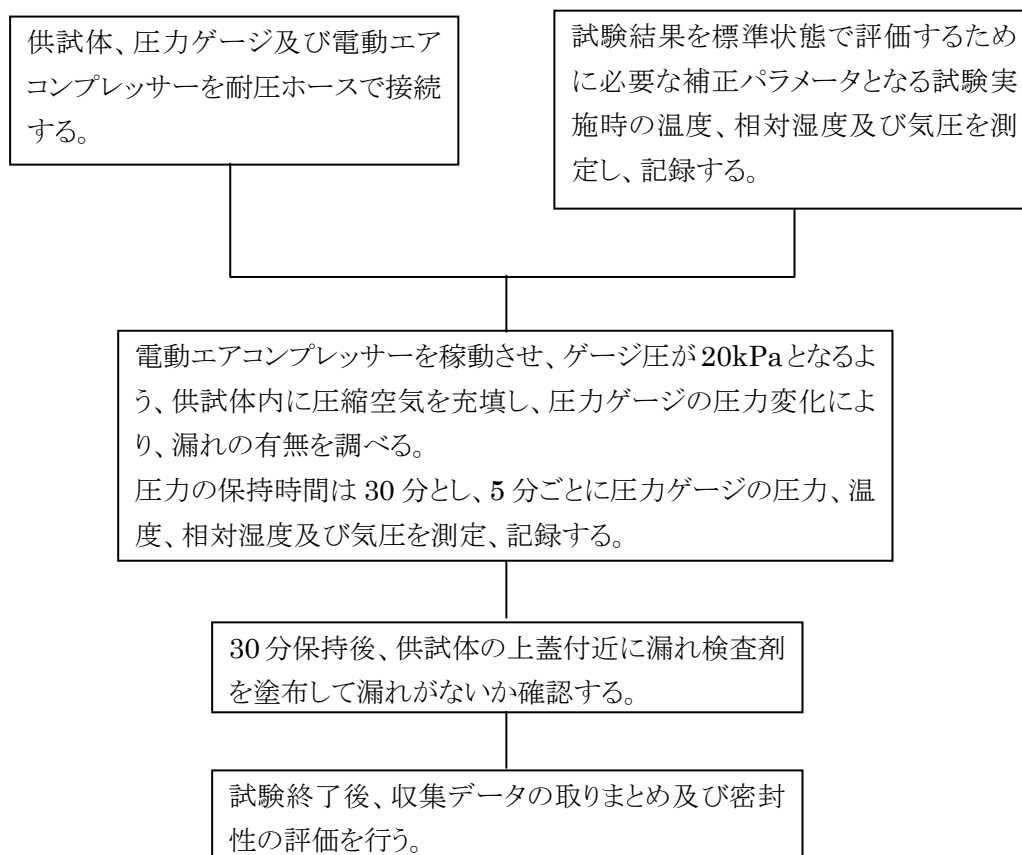


図 1-3 試験フロー

表 1-1 電動エアコンプレッサー

型式	SR-L30MPT	備考
出力	0.75kW	-
空気圧縮方法	往復動ピストン方式	-
空気吐出量	90ℓ/min	(0MPa 時)
	55ℓ/min	(0.45MPa 時)
	48ℓ/min	(0.6MPa 時)
	37ℓ/min	(最高圧力時)
最高圧力	0.8MPa	-
タンク容量	30ℓ	-

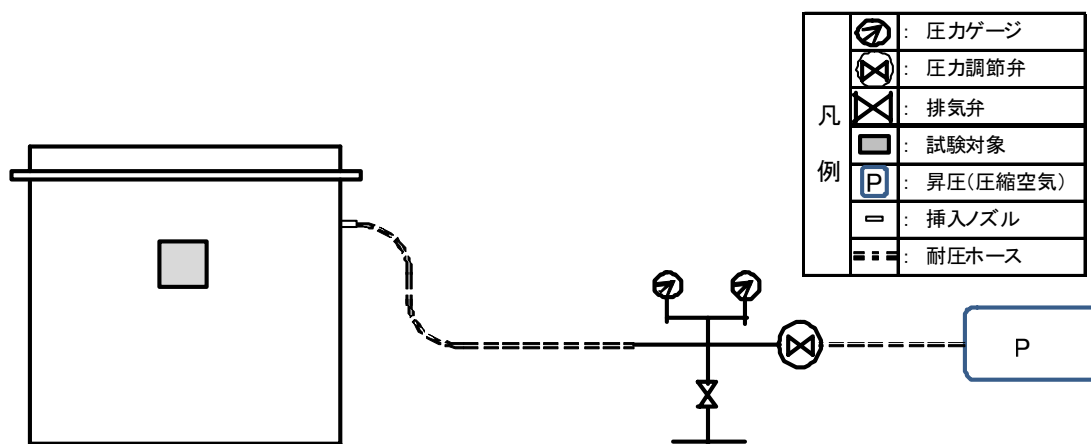


図 1-4 気密性試験装置

1.5 計測機器

表 1-2 に示す計測装置を用いて、気密性試験の試験前、圧力保持 5 分毎及び試験終了時に計測を実施して、データシートに記録した。

表 1-2 計測装置の仕様一覧

装 置	仕 様	品 番
温度計	棒状標準温度計 (東亜計器製作所 -2~52℃)	NO.1633
圧力計	正 AE10-141 (日本測器 Max 0.1MPa)	7294077
	副 AE10-141 (日本測器 Max 0.1MPa)	8477771
湿度計	TD-8183 (EMPEX)	26Z8A
気圧計	BA-654 (ENPEX BAROMETER)	10124

2. 気密性試験結果

2.1 測定記録

気密性試験の測定記録を表 2-1 に示す。供試体の番号は前回実施した載荷試験と同じ番号とした。圧力保持検査 30 分後は全ての供試体で 20kPa 以上の圧力を保持することができ、気密性を確認した。30 分保持状態後の圧力ゲージの写真を、図 2-2 に示す。試験中の温度は 23.0~25.0 で管理した。

表 2-1 測定記録

供試体	実験状況	時刻	圧力(kPa)	温度(℃)	湿度(%)	気圧(hPa)
No.1	昇圧開始	13:28	0	24.2	63.0	978
	昇圧完了	13:35	30	24.3	68.0	978
	調整開始	13:40	29	24.0	62.0	978
	検査開始	13:44	20	24.3	69.0	978
	検査 5 分後	13:49	21	23.8	63.0	978
	検査 10 分後	13:54	21	24.8	65.0	978
	検査 15 分後	13:59	21	23.6	67.0	978
	検査 20 分後	14:04	21	24.0	63.0	978
	検査 25 分後	14:09	21	23.6	68.0	978
	検査 30 分後	14:14	21	24.4	65.0	978
No.2	昇圧開始	14:21	0	23.8	70.0	978
	昇圧完了	14:26	30	24.2	61.0	978
	調整開始	14:31	29	24.0	70.0	978
	検査開始	14:36	20	23.5	64.0	978
	検査 5 分後	14:41	21	24.5	64.0	978
	検査 10 分後	14:46	21	25.0	70.0	978
	検査 15 分後	14:51	21	23.5	61.0	978
	検査 20 分後	14:56	21	23.5	67.0	978
	検査 25 分後	15:01	21	23.2	60.0	978
	検査 30 分後	15:06	21	25.0	66.0	978



図 2-1 検査終了時圧力 (No.1)



図 2-2 検査終了時圧力 (No.2)

2.2 標準状態での評価

気体の圧力は温度によって変化するので、ボイル・シャルルの法則を用いて標準状態（0℃）での供試体内の圧力の評価を行った。

ボイル・シャルルの法則は以下の式で表され、一定の質量の気体の体積は圧力に反比例し絶対温度に比例する。

$$\frac{P \times V}{T} = \text{一定}$$

試験時の絶対温度 : T1(K)

試験時の圧力 : P1(kPa)

標準状態の絶対温度 : T2(K)

標準状態の圧力 : P2(kPa)

供試体内の気体の体積 V は一定なので、次式が成り立つ。

$$\frac{P1}{T1} = \frac{P2}{T2}$$

$$P2 = \frac{P1 \times T2}{T1}$$

上式より、標準状態（0℃）での供試体内の圧力を算出した。その結果を表 2-2 に示す。

表 2-2 標準状態での供試体内圧力

供試体	実験状況	時刻	試験時の絶対 温度 T1 (K)	標準状態の 絶対温度 T2 (K)	試験時の 圧力 P1 (kPa)	標準状態の 圧力 P2 (kPa)
No.1	昇圧開始	13:28	297.2	273.0	0.0	0.0
	昇圧完了	13:35	297.3	273.0	30.0	27.5
	調整開始	13:40	297.0	273.0	29.0	26.7
	検査開始	13:44	297.3	273.0	20.0	18.4
	検査 5 分後	13:49	296.8	273.0	21.0	19.3
	検査 10 分後	13:54	297.8	273.0	21.0	19.3
	検査 15 分後	13:59	296.6	273.0	21.0	19.3
	検査 20 分後	14:04	297.0	273.0	21.0	19.3
	検査 25 分後	14:09	296.6	273.0	21.0	19.3
	検査 30 分後	14:14	297.4	273.0	21.0	19.3
No.2	昇圧開始	14:21	296.8	273.0	0.0	0.0
	昇圧完了	14:26	297.2	273.0	30.0	27.6
	調整開始	14:31	297.0	273.0	29.0	26.7
	検査開始	14:36	296.5	273.0	20.0	18.4
	検査 5 分後	14:41	297.5	273.0	21.0	19.3
	検査 10 分後	14:46	298.0	273.0	21.0	19.2
	検査 15 分後	14:51	296.5	273.0	21.0	19.3
	検査 20 分後	14:56	296.5	273.0	21.0	19.3
	検査 25 分後	15:01	296.2	273.0	21.0	19.4
	検査 30 分後	15:06	298.0	273.0	21.0	19.2

2.3 気密性試験時の空気の比重量

気体の密度は、温度、湿度、圧力により変化する。ここでは、気密性試験時の空気の比重量の評価を行った。

湿り空気の比重量は、下記の式で表される。

$$\gamma = 1.293 \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P - 0.378 \cdot \phi \cdot h_s}{101.3}$$

試験時の空気の比重量 : γ (kgf/m³)

試験時の温度 : t (°C)

試験時の気圧 : P (kPa)

試験時の相対湿度 : ϕ

t (°C)の飽和水蒸気圧 : h_s (kPa)

上式より、気密性試験時の空気の比重量を算出した。その結果を表 2-3 に示す。

なお、空気の比重量を算出するに当たっては、1 気圧=101.3 (kPa) とした。

また、空気の比重量については、供試体ごとの差が分かるよう、小数点以下第3位まで求めた。

表 2-3 気密性試験時の空気比重

供試体	実験状況	時刻	試験時の 気圧 P (kPa)	湿度 (%)	試験時の飽和水 蒸気圧 h_s (kPa)	試験時の空気 の比重量 γ (kgf/m ³)
No.1	昇圧開始時	13:28	97.8	63.0	3.02	1.138
No.2	昇圧開始時	14:21	97.8	70.0	2.95	1.139

注) 試験時の飽和水蒸気圧 h_s については、下記サイトより求めた。

“<http://www.s-yamaga.jp/nanimono/taikitoumi/kukichunosuijoki.htm>”

2.4 漏れ検査剤による気泡確認

30分間の圧力保持検査後、圧力を保持したまま漏れ検査剤による気泡確認を行った。その状況を図 2-3、図 2-4 に示す。全ての供試体の上蓋のパッキン部及び注入口部には、連続する気泡の発生はなく、供試体に空気の漏れがないことを確認できた。



図 2-3 気泡確認状況 (No.1)



図 2-4 気泡確認状況 (No.2)

3. まとめ

気密性試験の結果、以下のことを確認した。

- ・ 供試体（角形容器 S-1 型）は、400kN 載荷試験後においても、気密性を有していることを確認した。
- ・ 供試体は、漏れ検査剤により圧力保持時において空気の漏れがないことを確認した。

以上より、供試体（角形容器 S-1 型）は、200ℓ ドラム缶（1 種 H 級）と同等以上の密封性を有すると評価できる。

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立法メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s
電荷, 電気量	クーロン	C	s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウエーバ	Wb	Vs
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C	K
光照度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)
放射線量	グレイ	Gy	J/kg
放射線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg
酸素活性	カタール	kat	s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV.2002.70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s
表面張力	ニュートンメートル	N m
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s
角速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³
電表面積	クーロン毎平方メートル	C/m ²
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²
誘電率	ファラド毎メートル	F/m
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的關係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エル	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

