

シールド工事に用標準鋼製セグメント-二次覆工を施した鋼製セグメントの曲げ挙動に関する研究

新日本製鐵㈱ 鋼構造研究開発センター 正会員○豊島 経
 新日本製鐵㈱ 鋼構造研究開発センター 正会員 三宅正人
 住友金属工業㈱ 東京土木製品技術グループ 青柳貴志
 太陽鉄工㈱ 第二営業部 品川 弘

1. はじめに

本研究の目的は、二次覆工を施した鋼製セグメントの曲げ実験を行うことにより、これまで明確にされていなかった終局域までの曲げ性能を実験的に確認することである。

二次覆工コンクリートを施した鋼製セグメントは、コンクリートの拘束効果により全塑性モーメント相当の耐力を発揮すると考える。そこで本研究では、鋼製セグメントの耐震設計¹⁾をより合理的に行うことを考え、横断方向における全塑性モーメントによる照査法導入に必要なデータを収集すべく、実験的検討を行う。

2. 試験概要

表-1に試験ケースを、表-2に試験体寸法を、表-3に使用材料を、図-1に試験体と試験概要図を示す。試験体はシールド工事に用標準鋼製セグメントのS58をリング継手（ボルト）で接続し、管軸方向に切り出した鋼製セグメントに、二次覆工コンクリートを想定したコンクリートを打設したモデルである。

本モデルに対し、4点曲げ載荷を実施した。

表-1 試験ケース

試験ケース	
1	正曲げ
2	負曲げ

表-2 試験体寸法

セグメント タイプ	外径	スクリュー の厚さ	セグメント 幅	主桁		ウェブ				
	D_o (mm)	t (mm)	b (mm)	高さ h (mm)	厚さ t_r (mm)	高さ h_s (mm)	厚さ t_s (mm)	中心線長さ u_s (mm)	幅 b_s (mm)	中心角 θ (°)
S58	4050	3	1000	150	12	143	8	210	82	11.25
試験体	試験体 幅(mm)	試験体長 (mm)	せん断ス パン(mm)	ボルト	コンクリート	鋼材				
	500	2500	800	M22(4.6)	$\sigma_{ck}=21$ (N/mm ²)	SM490A				

表-3 使用材料

鋼材	セグメント本体	溶接構造用圧延鋼材 SM490A
	継手ボルト	六角ボルト (4.6)
コンクリート	f_{ck}	21N/mm ²
	粗骨材最大寸法	20mm

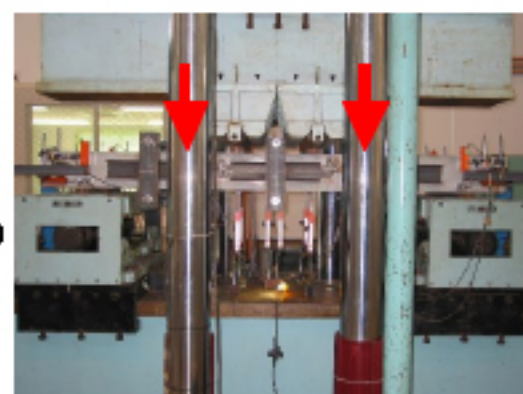
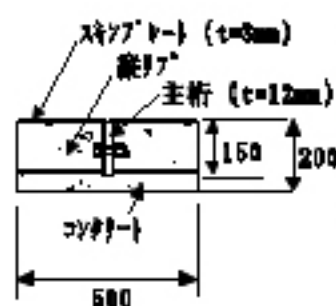
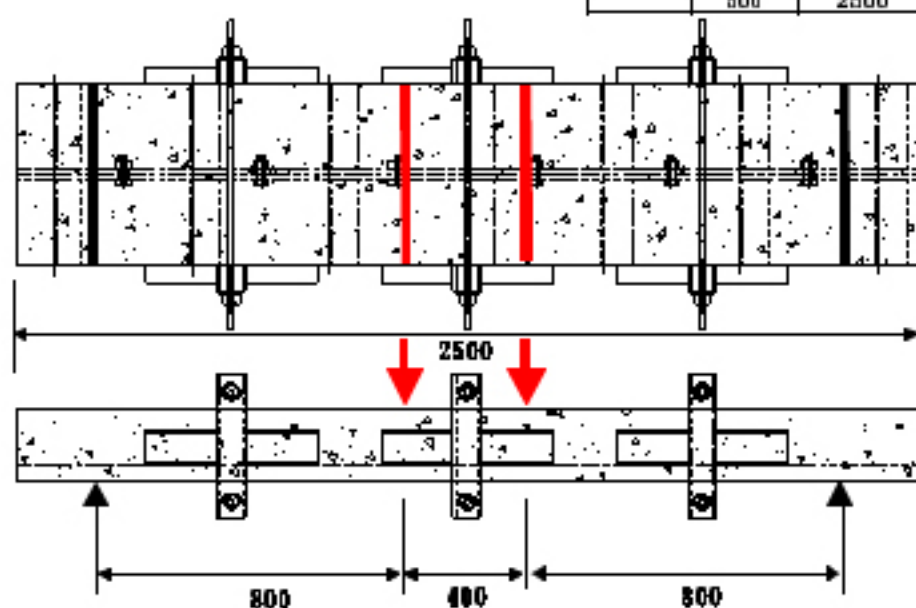


図-1 試験体と試験概要図（ケース1）（単位 mm）

3. 実験結果および考察

3.1 荷重と変位との関係

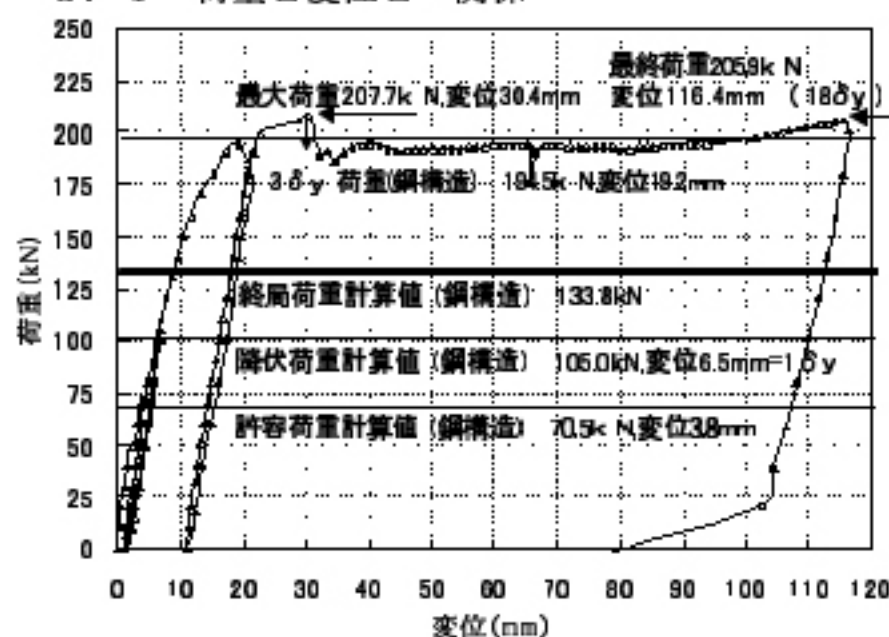


図-2 荷重と変位との関係（ケース1）

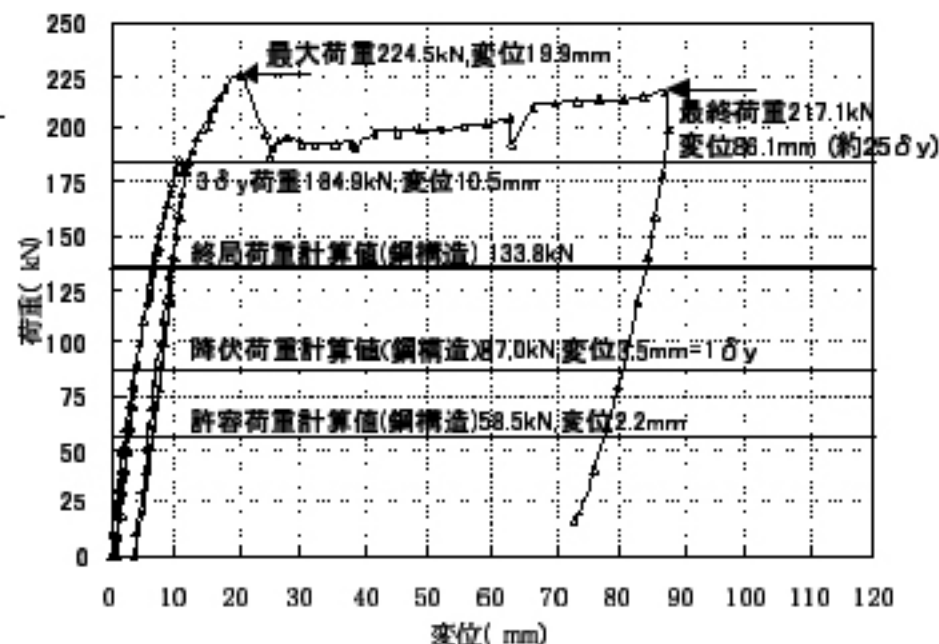


図-3 荷重と変位との関係（ケース2）

キーワード：シールドトンネル、鋼製セグメント、二次覆工、全塑性モーメント、耐震設計、曲げ実験
 連絡先：〒293-8511 千葉県富津市新富20-1 Tel 0439-80-2206

図-2, 図-3の荷重と変位との関係より, 両ケースとも終局荷重計算値(全塑性モーメント)を上回る最大荷重を確認した。また変形性能について, 両ケースとも最大荷重以降も耐力が低下することなく, $20\delta y$ 程度まで変形することを確認した。

3.2 モーメントと曲率の関係

図-4, 図-5のモーメントと曲率との関係において, 実験値(鋼とコンクリート)は, 荷重と純曲げ区間中央部の変位から求めた曲線, 実験値(鋼)は, 主桁高さ方向のひずみの値から求めた曲線である。

両ケースとも, 鋼構造として計算した全塑性モーメントを上回るモーメントを確認した。また実験値(鋼)は, 最大荷重以降もモーメントが増加することを確認した。このため鋼製セグメントは, 二次覆工コンクリートを施していれば, 鋼製セグメントは塑性変形し, 全塑性曲げモーメント以上の曲げ耐力を確保できる。

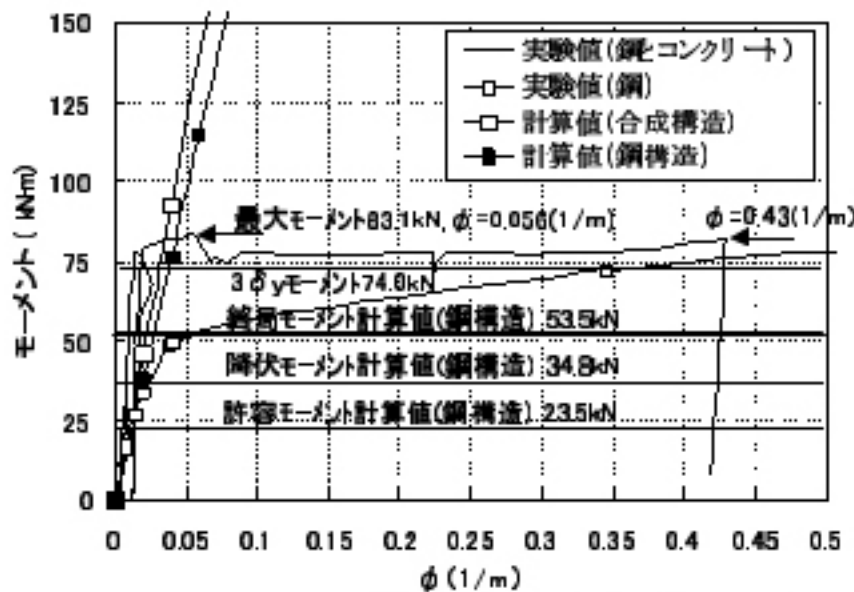


図-4 モーメントと曲率との関係 (ケース1)

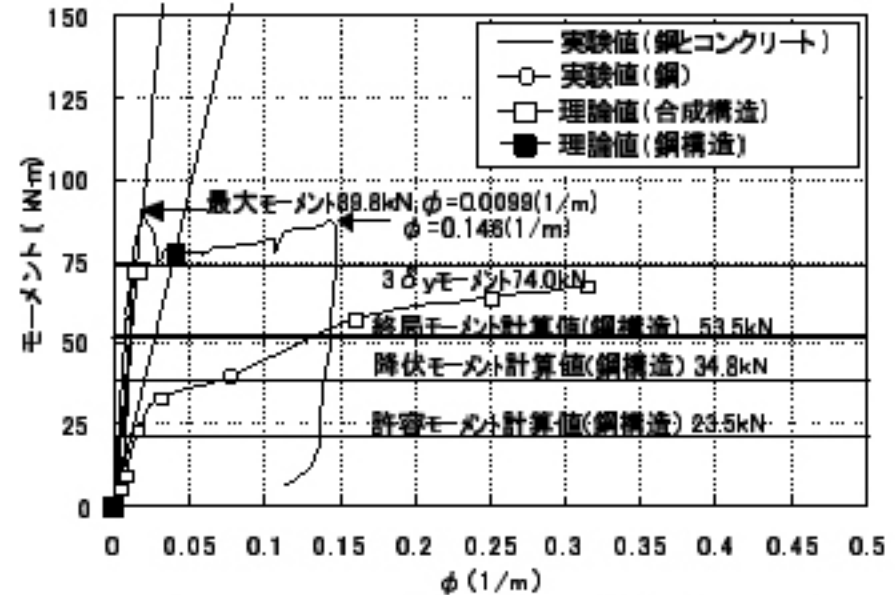


図-5 モーメントと曲率との関係 (ケース2)

3.3 維ひずみ

図-6, 図-7の維ひずみより, 圧縮, 引張縁のひずみから求めた断面の塑性化率は, 両ケースとも最終荷重時には95%程度塑性化しており, 断面がほぼ全塑性状態に達している。

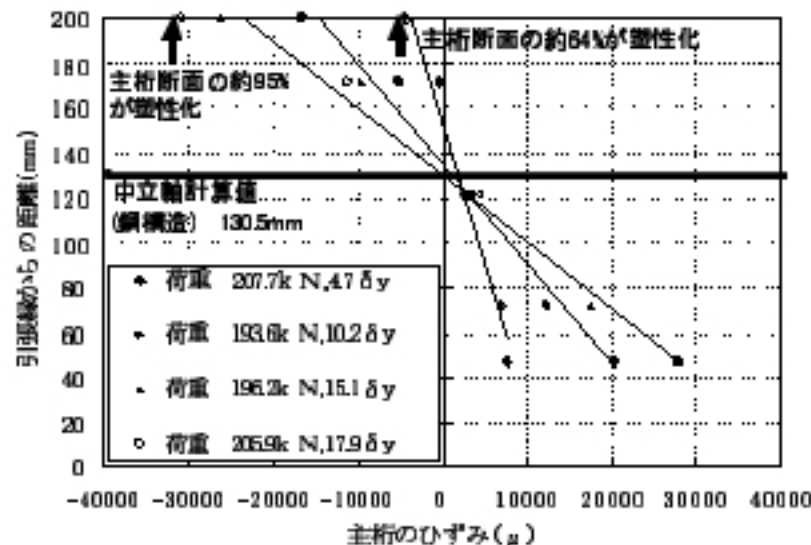


図-6 維ひずみ (ケース1)

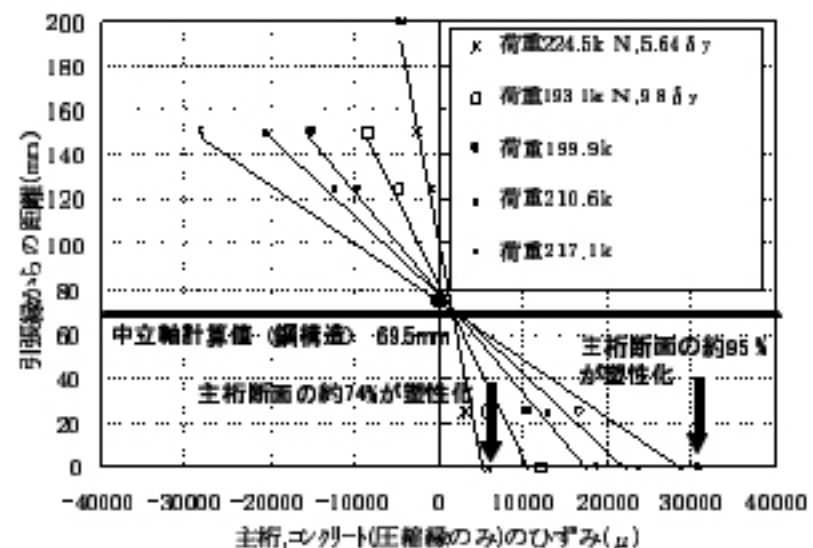


図-7 維ひずみ (ケース2)

3.4 解体調査結果

図-8の解体結果より, 両ケースとも主桁には, 長手方向に曲げ変形している以外は, 局部座屈等の損傷は確認されなかった。また試験体製作時に付したポンチ孔位置を測定した結果, 引張側端部のポンチ孔で, ケース1で4.7%, ケース2で4.0%のひずみを確認した。

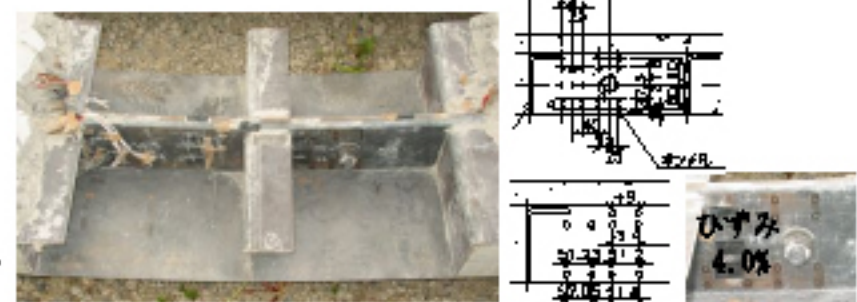


図-8 解体結果 (ケース2)

4. まとめ

- 1) 実験的検討の結果, 両ケースとも, 二次覆工コンクリートの拘束効果により, 主桁は局部座屈を生じることなく, 全塑性モーメント以上の耐力を有することを確認した。また最大荷重以降も荷重が漸増し, $20\delta y$ 程度までの変形性能を有することを確認した。
- 2) 二次覆工を施した鋼製セグメントの耐震設計について, 全断面が塑性化した状態を終局状態と定義すること, また剛性低下を考慮することにより, 文献¹⁾に記載される, 初期剛性により発生断面力を算出し, レベル2地震動に対し引張強度により照査する設計法に比べ, より合理的な設計が可能となると考える。

謝辞: 本研究は, 鋼製セグメント工業会より受託して行なったものであり, ここに感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) (社)日本下水道協会: 下水道施設耐震計算例 管路施設編 -2001年版-
- 2) (社)日本下水道協会: シールド工事用標準セグメント 平成13年7月1日

シールド工用標準鋼製セグメント-鋼製セグメントの圧縮挙動に関する研究

新日本製鐵(株) 鋼構造研究開発センター 正会員○豊島 徑
 新日本製鐵(株) 建材開発技術部 正会員 三宅正人
 マルケイ工業(株) 技術課 神津広光
 三井造船(株) 産業機械設計部 安藤幸作

1. はじめに

本研究の目的は、これまで明確にされていない鋼製セグメントの圧縮力に対する終局域までの挙動を実験的に確認することである。主桁の座屈に対して最も厳しい条件である純圧縮力のみを負荷した実験を行い、鋼製セグメントの圧縮力に対する終局域での性能確認、特に塑性域での主桁の座屈性状を実験により確認した。

2. 試験概要

試験ケースを表-1に、試験体寸法を表-2に、標準鋼製セグメントの幅厚比を図-1に、試験概要ならび試験体を図-2に示す。試験体は、シールド工用標準鋼製セグメント¹⁾のうち幅厚比の異なるタイプS9ならびにS59を模した試験体である。本タイプは幅厚比が大きく座屈を生じやすいS9と中間的なS59である。試験体の幅は、スキンプレーットの有効幅を確保した寸法とし、曲率を有しない平板型試験体とした。またリング継手のボルト締結による主桁厚の減少ならびにボルト孔の断面欠損を考慮するために、主桁にボルトを配し、初期導入軸力にて締結した。なお試験体の初期形状の寸法誤差(初期不整)の最大値は1.0mm程度であった。

表-1 試験ケース

試験 ケース	標準 番号	トンネル 外径 (mm)	主桁高 (mm)	主桁厚 (mm)	縦リブ ピッチ(mm)	幅厚比 補正值	セグメント幅 (mm)	スキンプレー ト (mm)
1	S9	2000	100	8	349	11.36	750	3
2	S59	4050	150	14	398	9.17	1000	3

表-2 試験体寸法

ケース1	試験体幅192mm, 試験体高103mm, 試験体長592mm スキンプレート幅176mm, 試験体長567mm	重量 20kg
ケース2	試験体幅204mm, 試験体高153mm, 試験体長641mm スキンプレート幅176mm, 試験体長616mm	重量 39kg

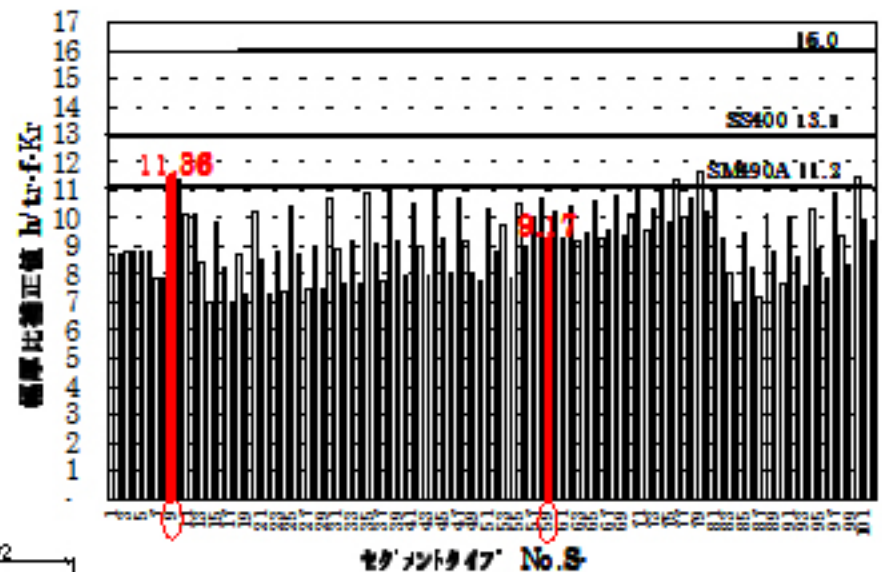
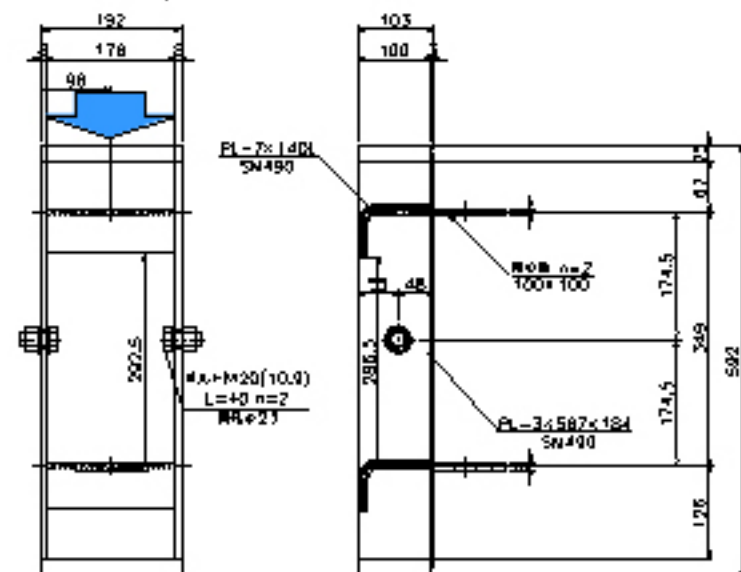


図-1 標準鋼製セグメントの幅厚比

図-2 試験概要ならびに試験体

3. 実験結果および考察

3.1 試験概況ならびに荷重と変位との関係

2つの試験結果である圧縮荷重と鉛直変位との関係を図-3に、試験終了後の試験体を図-4に示す。

ケース1について、荷重414kN程度にてスキンプレートが面外方向に座屈した。その後、最大荷重756kNのとき、2枚の主桁がそれぞれ同じ方向(左側)に座屈し、一方の縦リブのフランジ先端と他方の縦リブのウェブ先端を端とする1次の座屈モードを呈することを確認した。

ケース2について、最大荷重1800kNのとき、スキンプレートが面外方向に座屈していることを確認した。そして同じとき、2枚の主桁がそれぞれ同じ方向(右側)に座屈し、一方の縦リブのフランジ先端と他方の縦リブのウェブ先端を端とする1次の座屈モードを呈することを確認した。

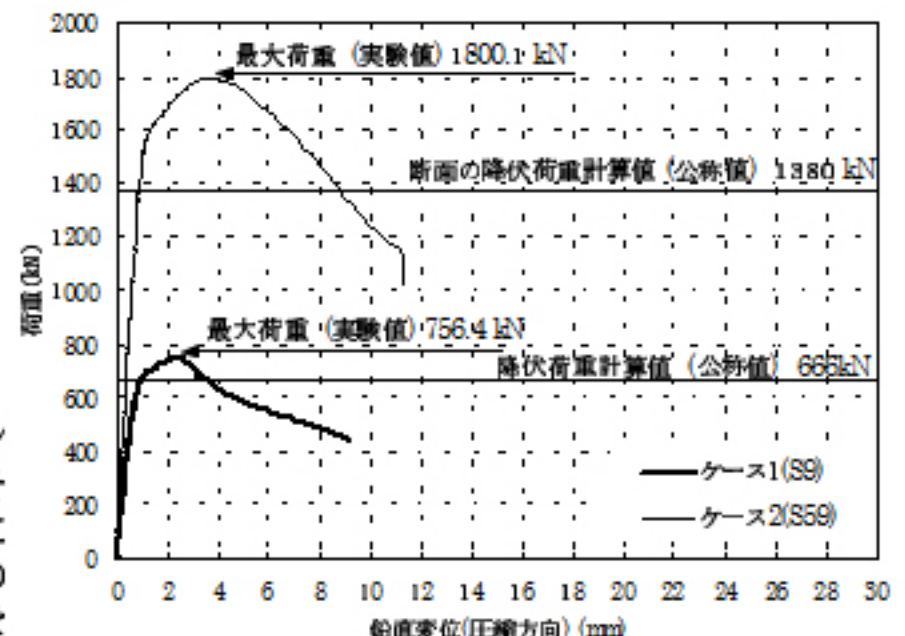


図-3 圧縮荷重と鉛直変位との関係

キーワード：シールドトンネル、鋼製セグメント、圧縮力、座屈、実験

連絡先：〒293-8511 千葉県富津市新富20-1 Tel 0439-80-2206

なおケース1ならびにケース2の試験体とも、試験終了後の観察では、溶接部の破断等、座屈以外の試験体の損傷は確認されなかった。

3.2 荷重とひずみとの関係

2つのケースの圧縮荷重と主桁のひずみとの関係を図-5, 6に示す。図中の2つの曲線は、主桁の同位置において主桁の表(hg1)と裏(hg2)に貼付したゲージ値である。2つの曲線が同一の軌跡を辿る間は、主桁には圧縮力のみ作用し、曲げは作用していないものの、2つの曲線が分岐する、すなわち異なる挙動を辿ると、座屈による面外方向の曲げの影響を受けていると考えられる。この結果、2つのケースとも概ね、断面の降伏荷重計算値を超える荷重において、主桁が塑性化した後、2つの曲線が分岐し、座屈を生じていることがわかる。また分岐は、最大値程度にて顕著化しており、主桁の座屈が鋼製セグメントの圧縮力に対する耐力に支配的となっていると考える。



図-4 試験終了後の試験体（左ケース1，右ケース2）

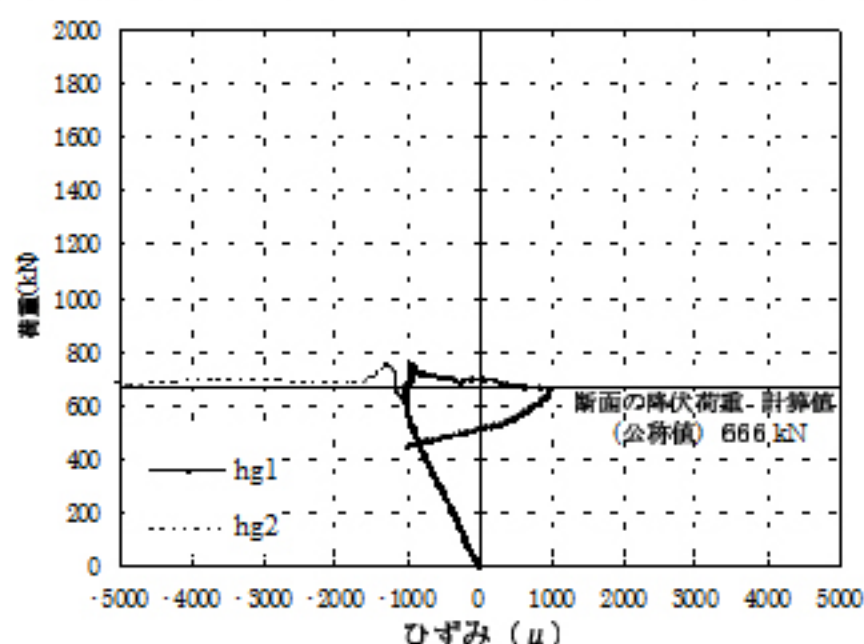


図-5 圧縮荷重と主桁のひずみとの関係（ケース1）

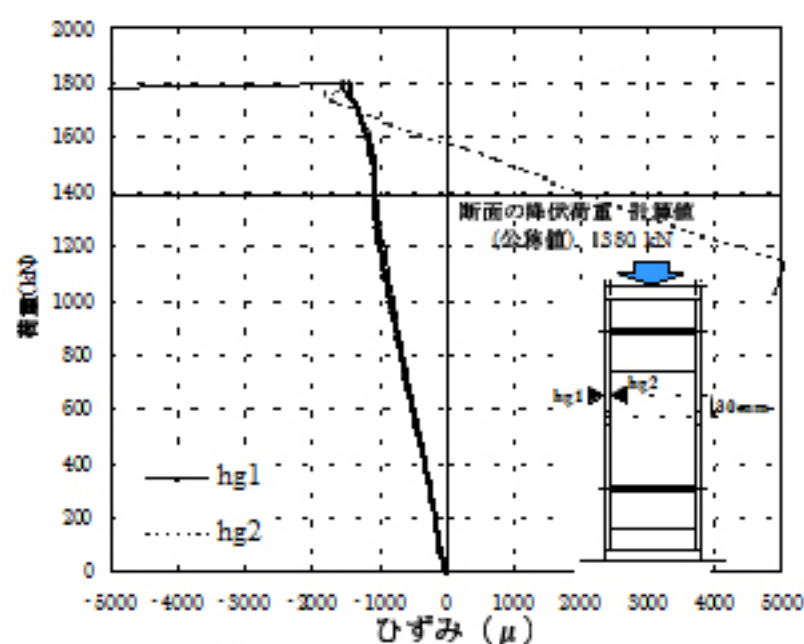


図-6 圧縮荷重と主桁のひずみとの関係（ケース2）

4. 数値解析による検討

主桁の座屈に対するボルト孔の影響ならびにボルト締結に伴う主桁厚の減少の影響を評価するために、3次元FEM弾性座屈解析を実施した（シェル要素にて試験体をモデル化、MARC2001による固有値解析を実施）。

数値解析結果を図-7に示す。スキンプレートならびに主桁の座屈モードは、実験結果と同じモードとなること（中図ならびに右図は主桁のスキンプレート側の水平変位を拘束）、またボルト孔による主桁の断面欠損、主桁板厚の減少は、座屈荷重には若干の影響を与えるものの、座屈モードの顕著な違いは確認できなかった。

5. まとめ

- 1) 鋼製セグメントの圧縮力に対する耐力において、主桁の塑性域における座屈が支配的となることを確認した。また座屈モードは両ケースとも、一方の縦リブのフランジ先端と他方の縦リブのウェブ先端を固定端とする1次の座屈モードを呈し、縦リブならびに主桁との接合部は、座屈の基点となることを確認した。
- 2) 鋼製セグメントの純圧縮力に対する最大荷重は、主桁の塑性域での座屈が支配的となり、耐震設計²⁾等において算定する断面の降伏荷重を十分上回ることを確認した。

なお本研究は、鋼製セグメント工業会より受託して行なったものである。

【参考文献】

- 1) (社)日本下水道協会：シールド工事用標準セグメント 平成13年7月1日
- 2) (社)日本下水道協会：下水道施設耐震計算例 管路施設編 -2001年版-

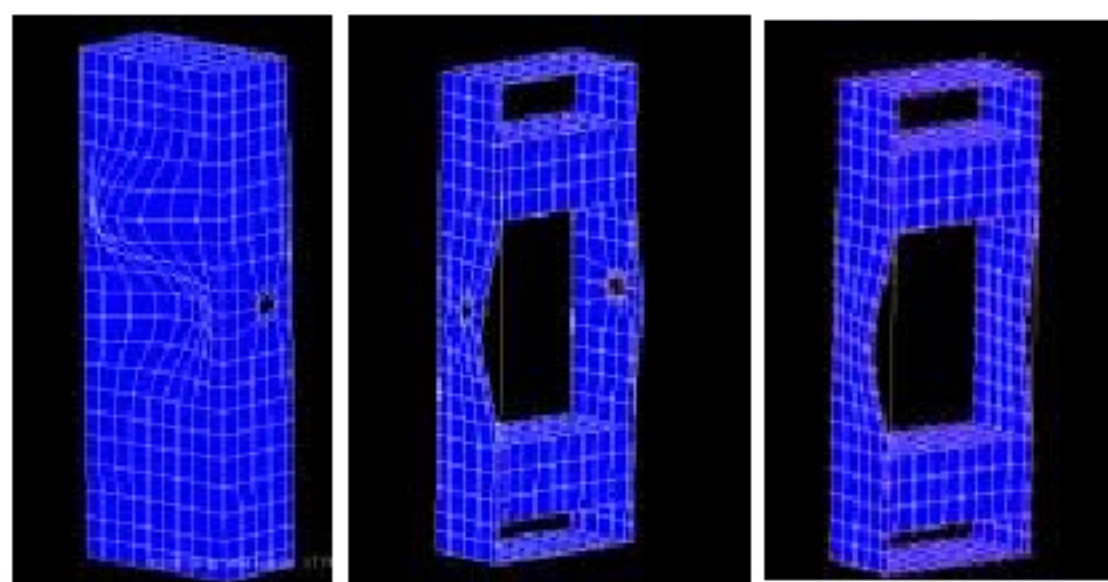


図-7 数値解析結果の座屈モード
（左図 スキンプレートの座屈，中図 主桁（ボルト孔有）の座屈，右図 主桁（ボルト孔無）の座屈）

シールド工用標準鋼製セグメント-二次覆工を施した鋼製セグメントの添接曲げ挙動に関する研究

住友金属工業(株) 鉄構技術部 正会員○前島 稔
 新日本製鐵(株) 建材開発技術部 正会員 鱒田 実
 石川島建機工業(株) 事業本部第一土木技術部 正会員 染谷洋樹
 川商ジェコス(株) 技術部 清水比呂志

1. はじめに

本研究の目的は、二次覆工を施した鋼製セグメントの添接曲げ実験を行うことにより、これまで明確にされていない終局域までの添接曲げ性能を実験的に確認することである。昨年度実施した単体曲げ試験¹⁾の結果、二次覆工コンクリートの拘束効果により主桁は局部座屈を生じることなく全塑性モーメント以上の耐力を有することを確認した。このため本年度は継手部に着目し、鋼製セグメントの耐震設計²⁾をより合理的に行うことを考え、継手部の挙動を実験により確認した。

2. 試験概要

試験体寸法を表-1に、試験概要ならびに試験体を図-1に示す。試験体はシールド工用標準鋼製セグメント³⁾のうちタイプS58を模した試験体である。S58は標準セグメントの中ではトンネル外径について中間的な寸法を有し、昨年度実施した単体曲げ試験にて対象としたタイプである。試験体は曲率を有しない平板型試験体とし、コンクリートのかぶりは47mm、全桁高が200mmとなるように製作した。またリング継手のボルトには、許容応力度の80%の初期軸力(92kN程)を導入した。本試験体の中央ピースに、4点正曲げを負荷した。

表-1 試験体寸法

セグメント タイプ	外径	スキンプレート の厚さ	セグメント幅	主桁		縦リブ				
	D_0 (mm)	t (mm)	b (mm)	高さh (mm)	厚さtr (mm)	高さhs (mm)	厚さts (mm)	中心線長 さus (mm)	幅 bs (mm)	中心角 θ (°)
S58	4050	3	1000	150	12	143	8	210	82	11.25
試験体	試験体幅 (mm)	試験体長(mm)	せん断スパン (mm)	ボルト	コンクリート	鋼材				
	1000	2500	800	M22(10.9)	$\sigma_{ck}=21$ (N/mm ²)	SM490A				

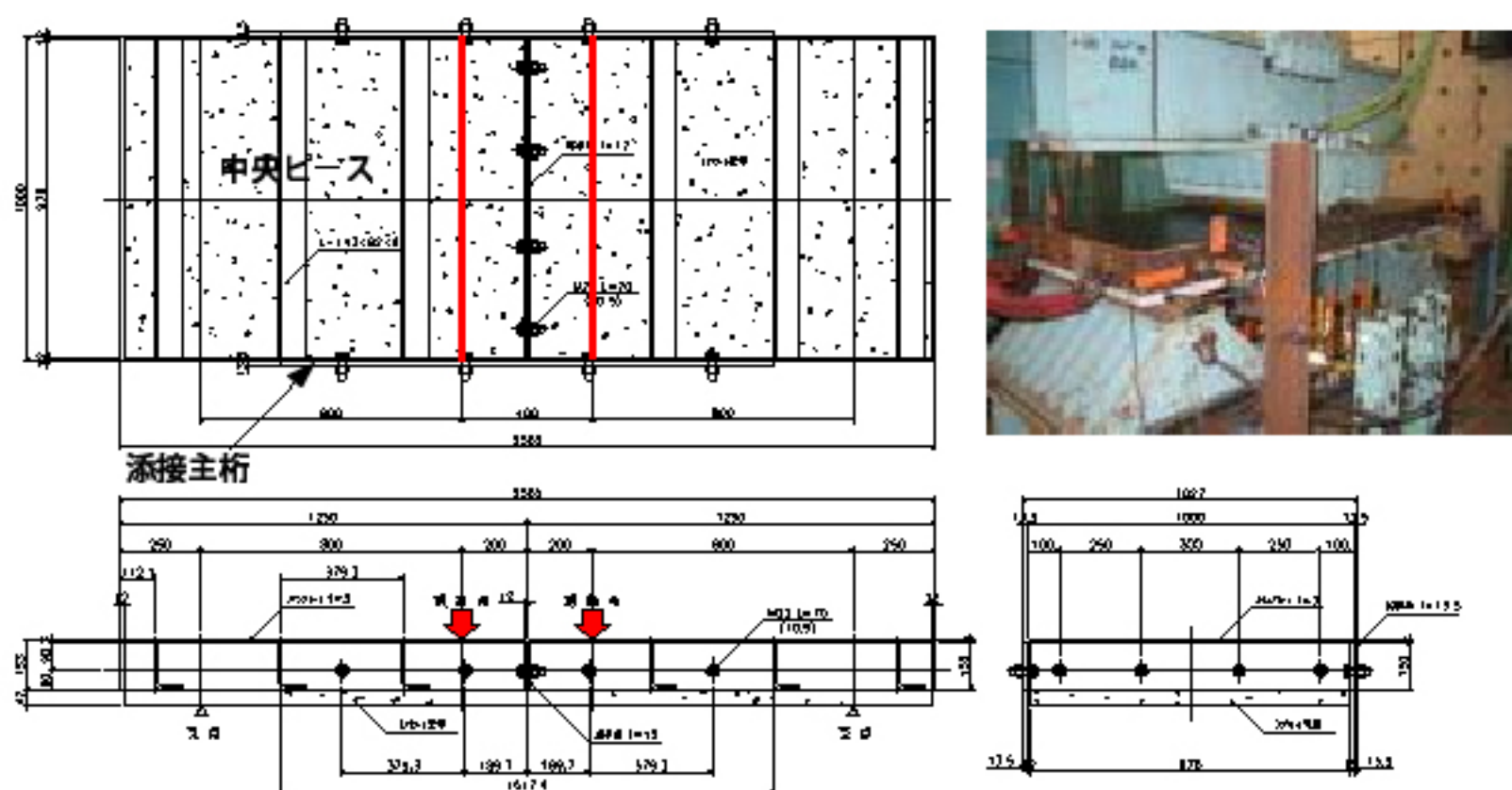


図-1 試験概要ならびに試験体

3. 実験結果および考察

3.1 試験概況ならびに荷重と変位との関係

荷重と中央ピース・添接主桁の中央変位との関係を図-2に示す。荷重120kN時、中央ピースと添接主桁との目違いが急増(2つの曲線が離間)した。これは、はじめ中央ピースと添接主桁が一体となって挙動していたのに対し、中央ピースの変形に伴い、主桁間の摩擦抵抗が減少したことに起因すると考える。その後、最大荷重267.3kNを確認した後、最終荷重258.7kN、中央変位182.7mmまでの挙動を確認した。

モーメントと曲率との関係を図-3に示す。図中の中央ピースのモーメントは載荷荷重より、曲率は鉛直変位より算定し、添接主桁のモーメントは主桁のひずみと応力の関係より、曲率は主桁引張縁のひずみより算定したものである。50kN・m程度(荷重120kN)までは、中央ピースと添接主桁のモーメントと曲率の関係(曲線)が概ね同じであり、添接主桁が全ピースに生じるモーメントを概ね負担していたと考える。

キーワード：シールドトンネル、鋼製セグメント、二次覆工、耐震設計、添接曲げ実験

連絡先：〒104-6111 東京都中央区晴海1-8-11 Tel 03-4416-6499

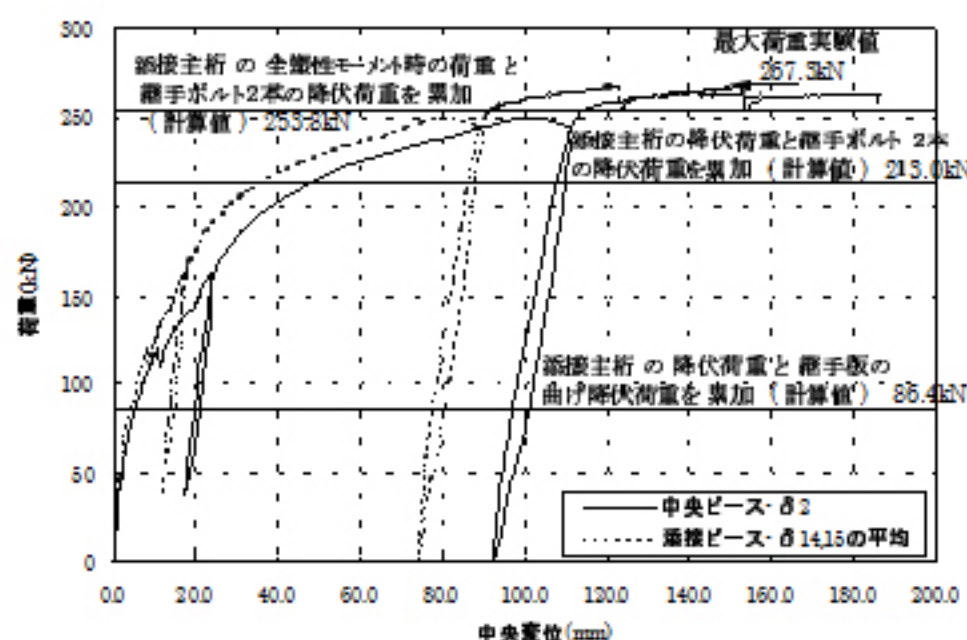


図-2 荷重と中央変位との関係



図-4 試験終了後の試験体概況

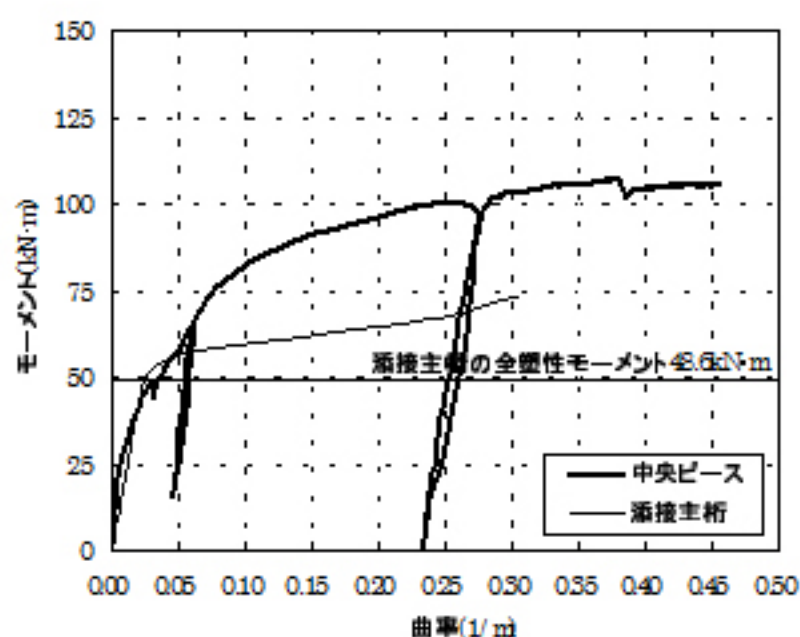


図-3 モーメントと曲率との関係



図-5 試験終了後の試験体概況 - 内空側

3.2 荷重とひずみとの関係

添接主桁の維ひずみ関係を図-6に示す。添接主桁の断面の塑性化率は93%程度となり、終局荷重時にはほぼ全断面が塑性化していることを確認した。荷重とボルトのひずみとの関係を図-7に示す。4本のボルトのうち主桁に近い2本のボルトのひずみ(B1,2,7,8)は、初期導入ひずみ以上に大きくなるものの、内側の2本のボルトのひずみ(B3,4,5,6)は、てこ反力により初期導入ひずみ以上とはならない。また荷重120kN以降において、中央ピースのセグメント継手部にモーメントが伝達されることにより、主桁に近い外側のボルト2本のひずみが増加している。

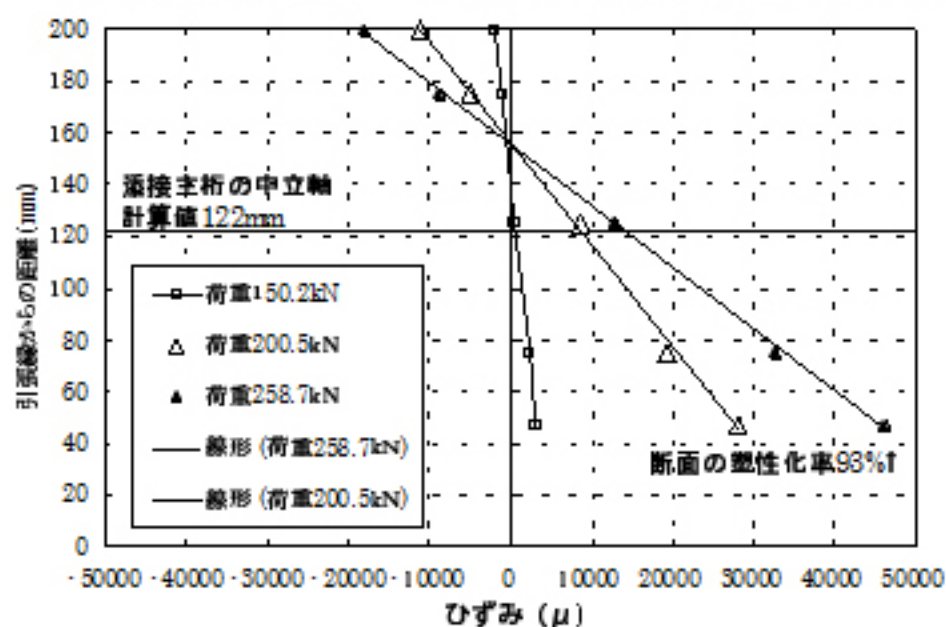


図-6 添接主桁の維ひずみ

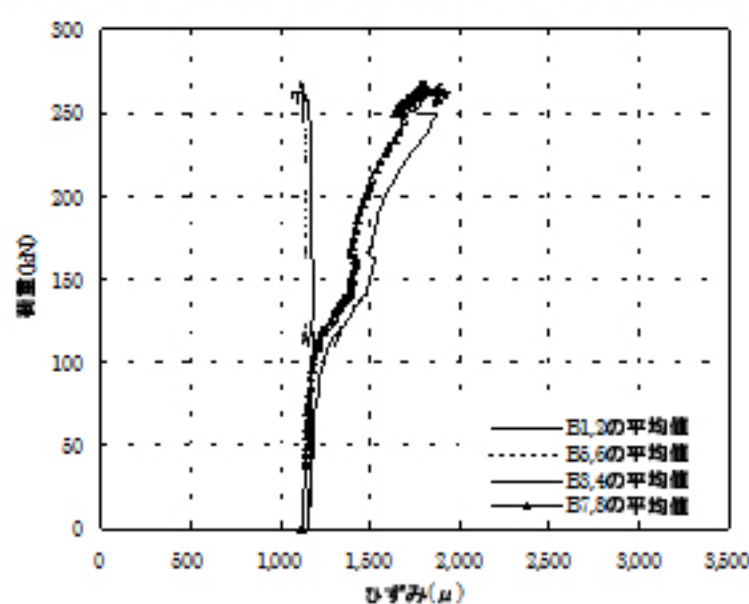


図-7 荷重とボルトのひずみとの関係

4. まとめ

- 1) 添接曲げ時の変形性能について、180mm程度の変形性能を確認した。添接部についても大きく損傷することなく高い変形性能を有していることを確認した。但し、継手部におけるコンクリートの拘束効果は、継手板の曲げ変形に伴う主桁の面外方向の曲げ変形を抑止できる点以外はその効果は正曲げの場合は小さい。
- 2) 最大荷重について、添接主桁の全塑性モーメントの荷重と継手ボルト2本の降伏荷重を累加した荷重計算値を上回ることを確認した。このためレベル2地震動に対するセグメントの耐震設計について、本体部は断面の全塑性モーメントにより、継手部はセグメント継手ボルト2本の降伏強度による照査が可能であると考えらる。

なお本研究は、鋼製セグメント工業会より受託して行なったものである。

【参考文献】

- 1) 豊島 径, 三宅正人, 青柳貴志, 品川 弘: シールド工事用標準鋼製セグメント-二次覆工を施した鋼製セグメントの曲げ挙動に関する研究, 第55回年次学術講演会講演概要集, 2003.9
- 2) (社)日本下水道協会: 下水道施設耐震計算例 管路施設編 -2001年版-
- 3) (社)日本下水道協会: シールド工事用標準セグメント 平成13年7月1日

鋼製セグメントのセグメント継手の終局破壊性状

新日本製鐵㈱ 鋼構造研究開発 C 正会員 ○石田 宗弘 太陽鉄工 第二営業部 品川 弘
 石川島建材工業 セグメント技術部 正会員 橋口 彰夫 JFE建材 セグメント技術部 松岡 馨

1. はじめに

従来、主に下水道をはじめとする中小口径トンネルに適用される鋼製セグメントのピース同士を継手板を当接して引張ボルト接続するセグメント継手部の終局時挙動は十分に確認されておらず、今後の限界状態設計法への対応上の技術課題ともなっている。セグメント継手の破壊は、通常、軸圧縮力が卓越する円形トンネルでは想定しづらいが、例えば大地震時などに、大きな曲げモーメントが作用して継手目開きを伴った引張力伝達状況下での可能性が考えられる。そこで、シールド工事前標準セグメントを対象として、実構造仕様の鋼製セグメント継手部に引張力を作用させた構造実験を実施し、終局時挙動の確認を行ったのでその概要を報告する。

2. 実験概要

図 2-1 に試験概要図を示す。試験ケースは 2 ケースとし、同形状の継手部のみを継手板同士を当接させてボルト接続したものを Case-1、さらに千鳥組み隣接リングの主桁を想定した添接板を供試体両側にリング間ボルトで接続したものを Case 2 とし、両ケースとも組み合わせた供試体端部の主桁高さ中央位置を万能引張試験機にチャックして反対方向に引張力を作用させて継手部単体及び供用状態における挙動を確認することとした。供試体の板厚・溶接仕様・ボルト仕様・ボルト取り付け位置は、社団法人日本下水道協会「シールド工事前標準セグメント」に準拠して決定した。また、供試体幅については、実構造時 ($B=750\sim1200\text{mm}$) と同様にこの反力の影響を伴った継手板の面外変形挙動が発生する必要十分な幅寸法として $B=450\text{mm}$ とした。

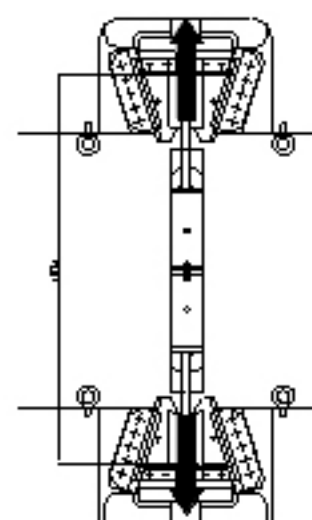


図 2-1 試験概要図

図 2-2 に供試体形状図、表 2-1 に供試体諸元および機械的性質を示す。接続ボルトには実施工時を想定して、ボルト長期許容応力度 ($\sigma_{sa}=380\text{N/mm}^2$; 土木学会「セグメントの設計」) の 80% 程度に相当する軸力を予め荷重前に導入した。荷重方法は単調荷重とし、ボルトの長期許容荷重、耐力荷重で一度除荷し、その後、最大荷重まで荷重した。表 2-2 に荷重荷重の計算値を示す。

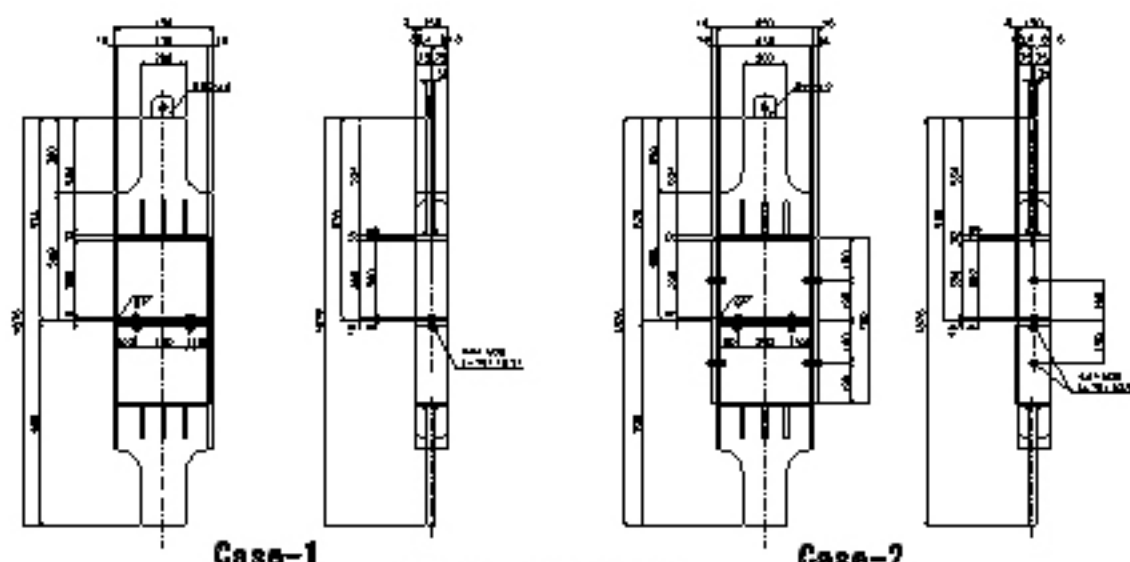


図 2-2 供試体形状図

ロードセル・変位計・ひずみゲージ・クリップゲージにより荷重・変位・ひずみ・継手板間の目開き量を計測した。

表 2-1 供試体諸元および機械的性質

部位	寸法	規格	降伏点または耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %
主桁	18mm	SM490	325以上	490~810	17以上
継手板	18mm	SM490	325以上	490~810	17以上
スパンプレート	3mm	SM490	325以上	490~810	17以上
ボルト	M20	10-B	940以上	1040以上	9以上
溶接サイズ	8mm	主桁と継手板間すみ肉溶接			

表 2-2 荷重荷重計算値

	ボルト有効断面積	設計強度	ボルト本数	荷重荷重
長期許容荷重	M20 245 mm ²	380 N/mm ²	2	186 kN
耐力荷重	M20 245 mm ²	752 N/mm ²	2	368 kN

耐力荷重時設計強度 = ボルト耐力 (940 N/mm²) / 安全係数 (1.25)

荷重荷重 = ボルト有効断面積 × 設計強度 × ボルト本数

キーワード 鋼製セグメント、セグメント継手、終局挙動、引張ボルト、添接効果

連絡先 〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1 TEL0439-80-3088/FAX0439-80-2745

〒100-8071 東京都千代田区大手町 2-6-3 TEL03-3275-7277/FAX03-3275-5636

3. 実験結果

図 3-1 に載荷荷重と供試体間の相対変位（目開き量）の関係を示す。Case-1 は荷重増加とともに継手板間の目開き量が大きく発生し、セグメント継手間ボルトのネジ部破断によって最大荷重 434kN（最大変位 51mm）を記録した。一方、Case-2 は載荷荷重 230kN 辺りから添接板と供試体の間ですべりが発生しはじめ、430kN 辺りでリング間ボルト軸部とボルト孔とが接触し、リング間ボルト軸部の破断によって最大荷重 759kN（最大変位 20mm）を記録した。何れの供試体もボルト耐

力計算値を上回る継手伝達性能を示すとともに、溶接部には亀裂等の破壊性状は観察されなかった。写真 3-1～4 に試験終了後の供試体状況を示す。Case-1 の継手板には大きな残留変形が発生しており、セグメント間ボルトの破断まで、継手部には高い変形追従性能があることがわかる。さらに、スキンプレート側は、供試体全幅にわたって目開きがほぼ均等に発生しているが、反対面側では、てこ反力の影響を受けて供試体幅中央部で継手板同士が当接する変形状態が観察されており、継手部の引張伝達に対してスキンプレートが大きく寄与していることがわかる。一方、供用時

の千鳥組みを想定した Case-2 では、供試体側部の添接板およびリング間ボルトの影響で継手板間の目開きは大きく発生していない。

図 3-2 に載荷荷重とセグメント間およびリング間ボルト（Case-2 のみ）の軸ひ

ずみ（対象ボルト平均値）の関係を示す。Case-1 では、ボルト規格耐力計算値（ボルト耐力 σ_y /ヤング率 E_s ）を大きく上回るボルト軸ひずみが発生している。一方、Case-2 では、ボルト軸ひずみの最大値はボルト規格耐力計算値の 75%程度に留まるとともに、リング間ボルト軸部とボルト孔との接触後は、リング間ボルト軸ひずみが急激に増加しており、作用力がリング間ボルトを介して添接板へ伝達していることがわかる。図 3-3 にボルト耐力荷重時（368kN）における継手板内面側の主ひずみ発生状況を示す。継手板は圧縮ひずみの発生状況からセグメント幅方向への面外変形が卓越することがわかる。また、Case-2 のひずみ量は Case-1 のひずみ量の約 1/10 程度であり、添接板の効果によって負担量が大きく減少する結果となっている。

4. まとめ

以上のことから、供用時の千鳥組み状態では、作用力がリング間ボルトを介して隣接リングへと分散され、継手板をはじめとする鋼殻部・セグメント継手間ボルトさらには溶接部の荷重負担は軽減される。千鳥組みを想定したシールド工事用標準セグメント仕様によるセグメント継手本体は、先行して破壊することではなく、最終的には隣接するリング間ボルトが破断して終局破壊状態を迎える。

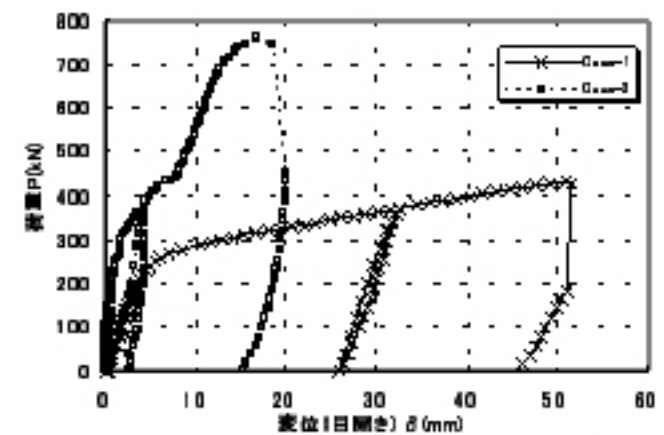


図 3-1 載荷荷重～相対変位（目開き量）



写真 3-1 Case-1（スキンプレ側）



写真 3-2 Case-1（スキンプレ反対側）



写真 3-3 Case-2（スキンプレ側）



写真 3-4 Case-2（スキンプレ反対側）

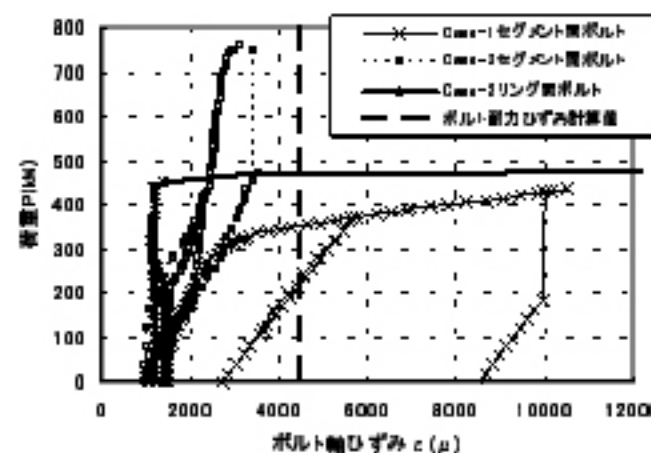


図 3-2 載荷荷重～ボルト軸ひずみ

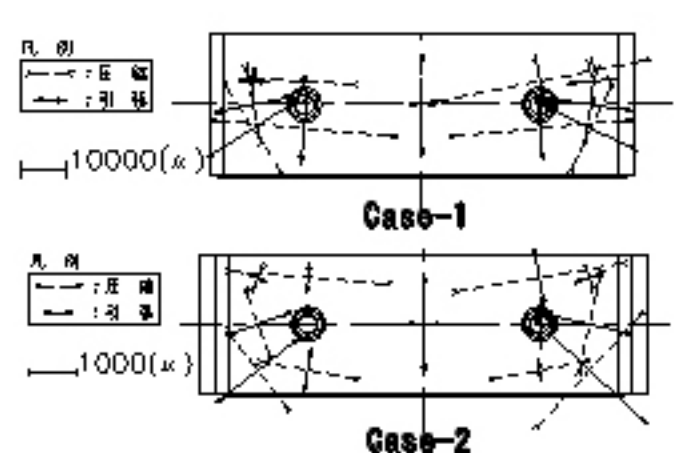


図 3-3 継手板内面側主ひずみ