

III-634

超大型シールド工事用セグメント開発実験

日本RCセグメント工業会 正会員 林 伸郎
 正会員 大長 唯宏
 正会員 大関 宗孝
 堀 誠行

1. はじめに

近年、大断面シールドの必要性が急速に高まってきておりこれに伴い、大断面シールドトンネルに用いるセグメントとして掘削断面を小さくするよう桁高の低いタイプのセグメントの開発が各方面で盛んに行われてきている。その一つとして建築構造物をはじめ、土木構造物の分野でも幅広く利用されている鉄骨鉄筋コンクリート（以下「SRC」という）構造に着目し、鋼構造とコンクリート構造の長所を生かしたシールド工事用SRCセグメントの開発に着手し、このたび実物大の直線梁供試体による単体曲げ試験ならびに継手曲げ試験を行った。本供試体は、従来のRCセグメントと性能が同等であるが、桁高を20%落としたSRCセグメントとし単体と継手の曲げ試験を行い、RCセグメントとSRCセグメントの性能比較を行った。本文では、その概要と試験結果を報告する。

2. 試験の概要

(1) 単体曲げ試験

RCについては、鉄筋比が1%となるようにまたSRCについてはRCと抵抗モーメントが同等となるように供試体を製作した。各供試体の内容については表-1、図-5、図-6に示す。載荷方法は設計荷重時の挙動を確認するため図-1に示すように設計荷重での繰り返し載荷を行った試験概要を図-2に示す。

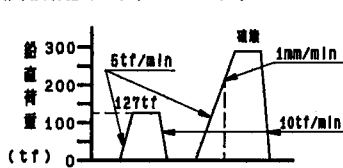


図-1 載荷段階図

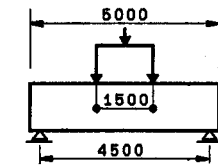


図-2 単体曲げ試験概要図

表-1 供試体比較表

	RC	SRC
幅	1500mm	1500mm
主桁高	700mm	550mm
主筋	D32-6本	I-400*150
断鉄筋比	0.92%	—
抵抗モーメント	95.2tf・m	96.8tf・m
継手部	M39(10.9) 6本	M36(10.9) 9本
許容モーメント	57.7tf・m	58.0tf・m
継手効率	60%	60%

(2) 継手曲げ試験

継手部については、RC、SRC両者、継手効率を主断面の60%とした。各供試体の内容については表-1、図-5、図-6に示す。載荷方法は、使用時を想定し図-3に示すように引張力圧縮力を導入後、破壊まで載荷を行った。引張力作用時の鉛直荷重は、ひび割れ幅が0.25mmとなる荷重を最終荷重とした。試験概要を図-4に示す。

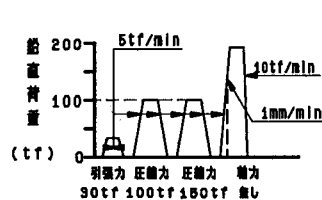


図-3 載荷段階図

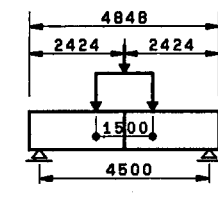


図-4 継手曲げ試験概要図

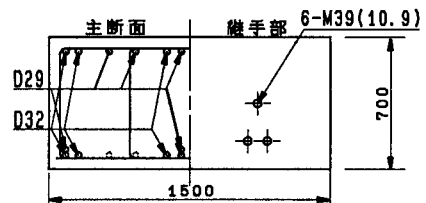


図-5 RCセグメント

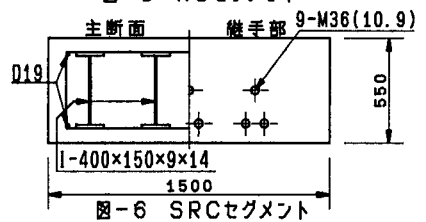


図-6 SRCセグメント

3 試験結果

(1) 単体曲げ試験

a 変位量

図-7は、設計荷重除荷後破壊まで載荷した時の供試体中央部の鉛直変位を示す図である。RCセグメントは、グラフの傾きが理論値に似ているのに対してSRCセグメントは設計荷重を超えた後も全断面有効の理論値の傾きに近い値を示している。

b 鋼材歪量

図-8は、設計荷重除荷後破壊まで載荷した時のSRCセグメントのI形鋼の歪を示す図である。中立軸の位置はひび割れが発生する前($P=50.6\text{tf}$)は、桁高方向の中心付近にあり、荷重を上げひび割れが発生すると外面側に移動している。

(2) 継手曲げ試験

a 変位量

図-9は、軸力無しで破壊まで載荷した時の供試体中央部の鉛直変位を示す図である。RC、SRC両者とも本体のクラック発生後の理論値に似た挙動を示している。また設計荷重時の単体曲げ試験の実測値と継手曲げ試験の実測値を比較(継手曲げ試験/単体曲げ試験)するとRCセグメントは71%、SRCセグメントは73%となった。

b 継手回転バネ定数

図-10は、軸力無しで破壊まで載荷した時の継手回転角を示す図である。設計荷重時の回転バネ定数はRCセグメントで $K_{\theta}=4.55 \times 10^4 \text{tf} \cdot \text{m/rad}$ 、SRCセグメントで $K_{\theta}=4.51 \times 10^4 \text{tf} \cdot \text{m/rad}$ とほぼ同じ値となった。

4 まとめ

今回の載荷試験により得られた結果をまとめると以下の通りである。

- (1) SRC単体曲げの最終荷重は理論値を大幅に上回っており、最終荷重状態を確認したところコンクリートとI形鋼の間に剝離も無いことよりコンクリートとI形鋼は一体化されていると考えられる。
- (2) セグメント継手によってS部とRC部の結合が強固になっていることが鋼材の歪分布より確認出来た。このことより本SRCセグメントの設計は、S部、RC部の累加断面で行ったが、今後S部、RC部の併用断面として経済的な設計が可能である。
- (3) SRCセグメントは、I形鋼に継手部より直接荷重を伝達するため剛性が高い継手構造となり、セグメント自重の撓みを抑制出来るためセグメントの薄形化が可能である。

5 おわりに

SRCセグメントは本載荷試験によってその合理性と信頼性が確認出来たと考えられる。今後、①接合継手部の詳細②ひび割れ分散性の改善について詳細に検討し、実験を行い実工事を目標とした設計を行っていく予定である。

最後に、本セグメントの載荷試験を行うにあたり貴重な御助言、御指導をいただいた東京都立大学山本総名誉教授に謝意を表します。

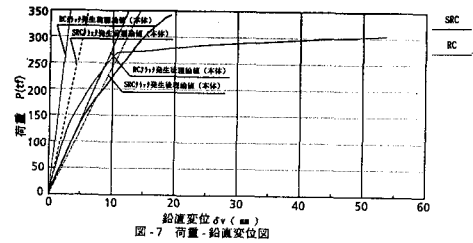


図-7 荷重-鉛直変位図

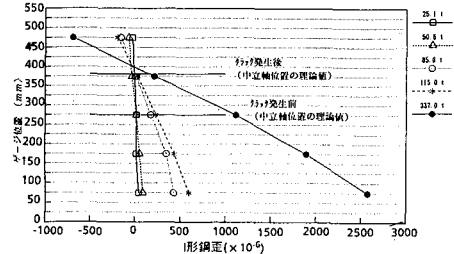


図-8 I形鋼歪分布図

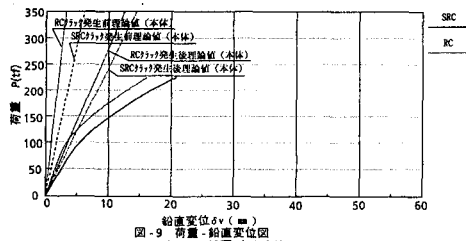


図-9 荷重-鉛直変位図

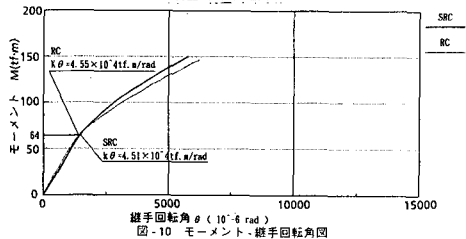


図-10 モーメント-継手回転角図

Ⅲ-607

超大型シールド工事に用セグメント開発実験
- S R C セグメント用継手の開発試験 -

日本 R C セグメント工業会 正会員 菊池征祐, 正会員 長岡省吾
堀 誠行, 正会員 大長唯宏
本田和之
株式会社 クボタ 堀木雅之

1. はじめに

大断面シールドに用いるセグメントとして掘削断面を小さくするよう桁高の低いタイプのセグメントの開発が各方面で盛んに行われてきている。日本 R C セグメント工業会はそのひとつとして建築構造物をはじめ、土木構造物の分野でも幅広く利用されている鉄骨鉄筋コンクリート（以下「S R C」という）構造に着目し、鋼構造とコンクリート構造の長所を生かしたシールド工事に用 S R C セグメントの開発に着手した。ここでは S R C セグメントの継手構造として、セグメント継手の引張力をボルト接合方式で主構の I 型鋼へ直接伝達する機構と楔接合方式で伝達するものとの 2 タイプの継手形式を提案する。次にはその概要および基礎実験の結果を報告する。

2. 継手の形式

(1) ボルト接合継手の特徴

写真-1 および図-1 に示すように、この継手はボルトの引張力がフランジから補強リブ、連結板を介して主構の I 型鋼へ直接伝達する機構となっているので力学上応力の伝達がスムーズであり、継手の強度と剛性をセグメント本体と同じまで高めることができる。

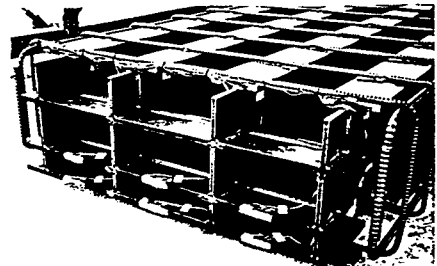


写真-1 直線梁供試体
（ボルト接合継手）

(2) 楔接合継手（ウェッジコネクター）の特徴

図-2 に楔接合継手の概略図を示す。本体の鉄骨部のウェーブ部に一對の継手金物（F 金物）を両側から摩擦接合用ボルトで締結し、その開口部に H 形状なる楔金物（M 金物）を挿入して接合する継手形式である。この継手形式にするとセグメント本体への応力伝達がスムーズになる利点の他に以下のような特徴が指摘できる。①金物製作の合理化を図ることができる。②継手金物を小さくする事ができるので R C 部分の配筋が容易である。③ダクタイル鋳鉄製にすることにより継手強度の設計に柔軟に対応することができる。④ M 金物の設置位置を外側側にすることにより負の曲げモーメントにも容易に対応できる。⑤自動組立への対応が容易である。

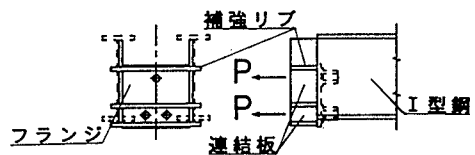


図-1 ボルト接合継手

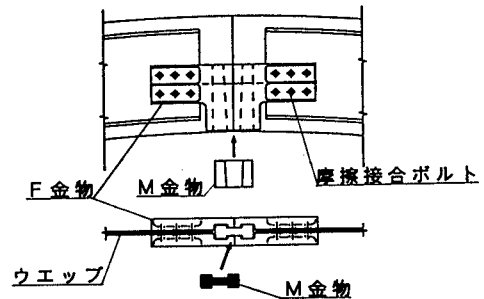


図-2 楔接合継手
（ウェッジコネクター）

3. 試験結果

(1) ボルト接合方式

載荷試験治具を用いてセンターホールジャッキによってボルトに引張力を導入する方式で試験した。

図-3は、ボルトに引張力を導入し、補強リブ中央付近に発生する歪みを示す図である。載荷位置である3本のボルトの図心位置に近いG3の歪み、およびセグメント内径面側2本のボルト位置付近のG5の歪みは理論値よりやや大きくでているが、グラフ3本の傾きは、理論値と近似している。又、応力の計測値からみて、その分担が適切になされており、力学上問題ないことを確認した。

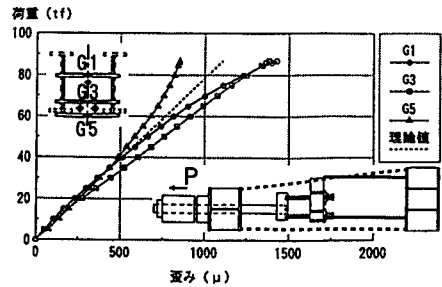


図-3 荷重-歪み関係図(ボルト接合継手)

(2) 楔接合方式(ウェッジコネクター)

a. M金物押し込み試験

図-4は、アムスラー試験機を用いて押し込み力と継手の締結力との関係を示す図である。

この実験では、継手金物にコンクリートによる拘束がないために、継手金物が開きぎみになり、予想した値よりも小さな押し込み力で挿入する事ができた。

b. 引張強度試験

センターホールジャッキによってM金物に引張力を導入する方式で試験した。

図-5は、M金物に貼付したゲージの平均歪みと引張力の関係を示す図である。試験結果としては、110tfでF金物と連結板にズレが生じ、153tfでF金物、M金物が共に破断した。しかしながら、机上の設計耐力を上回り所用の強度を得ることができた。

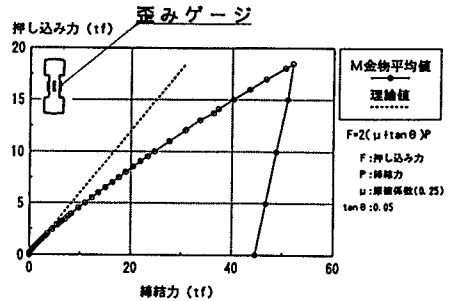


図-4 押し込み力-締結力関係図

(ウェッジコネクター)

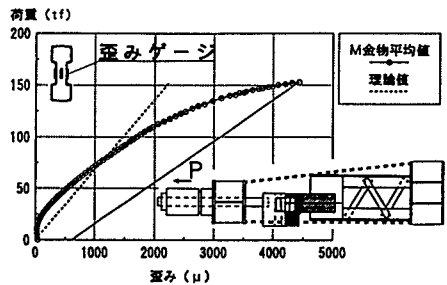


図-5 荷重-歪み関係図(ウェッジコネクター)

4. まとめ

今回の試験により、一対のF金物を使った楔接合方式(ウェッジコネクター)及びボルト接合方式でも、主構との定着に実用上問題ない事を確認し、SRCセグメント用継手の基礎的な特性を把握することができた。今後は、実物大の実験等を行うことにより詳細なデータを収集し、実施工への適用を進めていく予定である。

最後に、本セグメントの開発、試験を行うにあたり貴重なご助言、ご指導頂いた東京都立大学の山本稔名誉教授に謝意を表します。

参考文献

- 1) 林,大長,大関,堀:超大型シールド工事用セグメント開発実験,土木学会第49回年講,1994.9

III-B 121

超大型シールド工事用セグメント開発実験

ー継手曲げ試験ー

日本RCセグメント工業会

正会員 長岡省吾

正会員 大長唯宏

正会員 森 孝臣

正会員 本田和之

正会員 橋本博英

（株）クボタ

正会員 堀木雅之

1. はじめに

超大型シールド工事用セグメントとして、鉄骨鉄筋コンクリート（以下「SRC」という）セグメントの開発を1994年から行ってきた。土木学会第50回年次学術講演会²⁾においてはSRCセグメント用継手のスケルトンの引張試験について、その概要と試験結果を報告した。

今回、この試験結果をふまえSRCセグメントの実用化に向けて、実物大SRCセグメント(外径8900mm 幅1200mm 桁高550mm)を製造し継手曲げ試験を行った。その結果について報告する。

2. 試験の概要

(1) 試験供試体

試験供試体は、図-1に示すような一対のF金物を主構のI形鋼ウェブ部に摩擦接合用ボルトにて締結した、ウエッジコネクター継手(楔接合方式、材質:FCD500)、及び図-2のような、ボルト張力を連結板を介してI形鋼に直接伝達するようにしたボルト継手(M36)の2種類である。

両者の理論値は表-1の通りである。

表-1供試体性能表(理論値)

項 目	ウエッジコネクター継手		ボルト継手	
	曲げモーメント	荷 重	曲げモーメント	荷 重
設計荷重	39.6 (tf-m)	33.4 (tf)	36.4 (tf-m)	30.7 (tf)
破壊荷重	115.0 (tf-m)	97.0 (tf)	114.6 (tf-m)	96.6 (tf)

※ウエッジコネクター継手については形状係数(応力集中係数)を考慮している($\gamma=1.3$)。

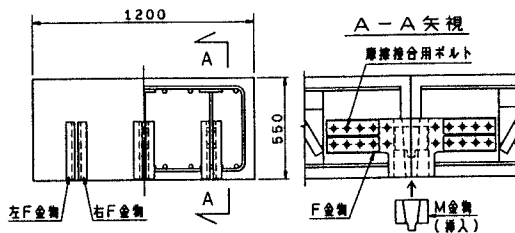


図-1 ウエッジコネクター継手

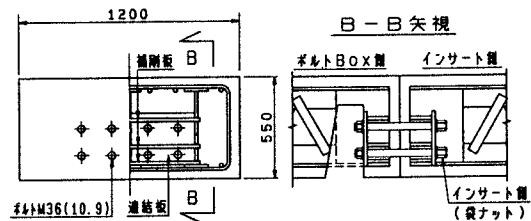


図-2 ボルト継手

(2) 試験方法

試験は図-3のように、水平2点載荷・両端可動支持とし油圧ジャッキにより継手部に純曲げを作用させ行った。

また、載荷方法は設計荷重時の挙動を確認するため、設計荷重までの第一回目載荷と、その後破壊までの第二回目載荷による繰返し載荷を行った。（ウエッジコネクター継手の試験においては γ （形状係数）=1.0とした場合の荷重で繰返しをおこなった。）

尚、試験実施の安全上、供試体の変位量、継手部開口量の測定及びひび割れの追跡調査は載荷荷重60tfで中止した。

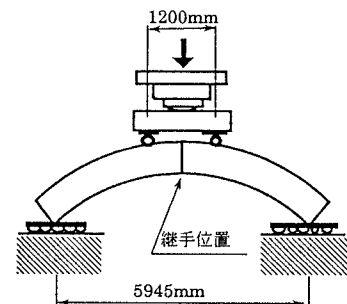


図-3 試験概要

3. 実験結果

両者共に理論破壊荷重を上回った。ウェッジコネクター継手の場合、初期ひび割れは曲げによって本体部に発生し、F金物の破断により破壊した。ボルト継手の場合は、ボルトボックス周辺部に比較的早く初期ひび割れが発生し、補剛板と本体鉄骨部の溶接部が降伏したことにより破壊した。

図-4は二回目载荷における供試体中央の鉛直変位を表す図である。ウェッジコネクター継手、ボルト継手共に各継手曲げ試験の理論変位量よりも小さい値で推移した。設計荷重時において、継手曲げ試験の実測変位量と継手剛性を無限大とした理論変位量との比〔（実測）／（理論値）〕はウェッジコネクター継手の場合約90%、ボルト継手の場合約75%であった。尚、理論値計算にあたってコンクリートのヤング係数は、試験供試体と同一条件で製作した円柱供試体の実測値を用いた。

図-5はウェッジコネクター継手の場合の各荷重段階における継手部I形鋼（F金物との連結部）の歪み分布を表した図である。摩擦接合ボルト付近のウェブは荷重変化分に対し鋼材の歪みは小さく、F金物の上下部においては荷重が増す毎に圧縮力、引張力が単体曲げ試験のI形鋼歪み分布のように、増加している。また、ボルト継手においても同様な挙動を示し、ボルトから補剛板部にかけて異状は見られなかった。このことより、両ケースとも継手部に作用する力は確実に本体の鉄骨に伝達されているといえる。

図-6は曲げモーメントと継手部の回転角の関係を表す図である。ウェッジコネクター継手の目開き量はボルト継手より小さく、設計荷重時での回転バネ定数はウェッジコネクター継手で $3.04 \times 10^4 \text{tf} \cdot \text{m/rad}$ 、ボルト継手 $2.16 \times 10^4 \text{tf} \cdot \text{m/rad}$ と高い値が得られた。

4. まとめ

一連の载荷試験により、主構に直結されるSRCセグメントの継手は高剛性化がはかれ、高い回転バネ定数を得ることができ変形が小さく抑えられることが実物大実験においても確認された。

特にウェッジコネクター継手はダクタイル鑄鉄製にすることにより、内水圧が作用する場合等様々な使用条件に柔軟に対応可能となり、継手部の補剛板等の部材も不要となるため鋼材加工も合理化されSRCセグメントに適した継手であるといえる。

今後、大口径や重荷重部に使用するセグメントとして、SRCセグメント、ウェッジコネクター継手を提案し、実施工を通して更なる改善・改良を行って行きたいと考えております。

最後に、本実験を行うにあたり貴重な御助言、御指導をいただいた東京都立大学の山本稔名誉教授に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 林、大長、大関：超大型シールド工事用セグメント開発実験、土木学会第49回年次学術講演会、1994、9
- 2) 菊池、長岡、堀：超大型シールド工事用セグメント開発実験、土木学会第50回年次学術講演会、1995、9

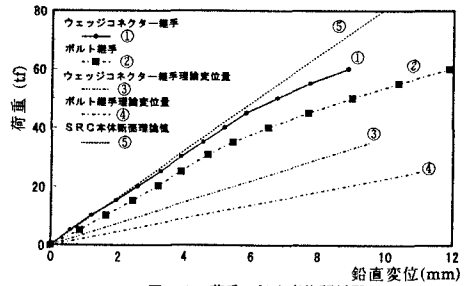


図-4 荷重-鉛直変位関係図

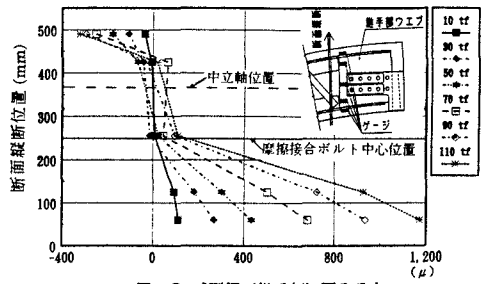


図-5 I型鋼（継手部）歪み分布

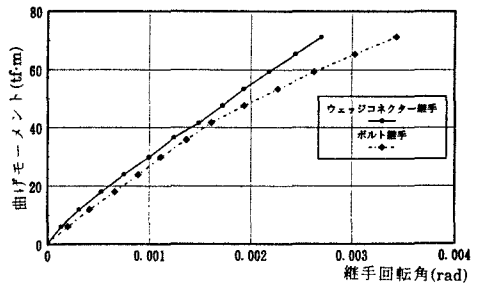


図-6 モーメント-継手回転角関係

III-B 120 超大型シールド工事用セグメント開発実験

－ 単体曲げ試験 －

日本RCセグメント工業会 正会員 本田和之 正会員 橋本博英
正会員 佐久間靖 正会員 林 伸郎
森 孝臣

1. はじめに

近年、都市部の過密化により、河川、道路等の大型施設が地下深く建設せざるを得ない状況となっており、大断面シールドトンネルの必要性が急速に高まってきている。大断面トンネルに用いるセグメントとして掘削断面を小さくするよう桁高の低いタイプのセグメントの開発が各方面で盛んに行われてきている。日本RCセグメント工業会では建築構造物をはじめ、土木構造物の分野でも幅広く利用されている鉄骨鉄筋コンクリート（以下「SRC」という）の構造に着目し、鋼構造とコンクリート構造の長所を生かしたシールド工事用SRCセグメントの開発に着手し、1994年に実物大の直線梁供試体による単体曲げ試験及び継手曲げ試験を行い、その実験結果より、1)継手部の合理化、2)ひび割れ分散性の向上、3)コンクリート打設性の向上の3点が今後の検討項目になった。1995年には突起付き鋼材による付着性能及び、ひびわれ分散性試験、SRCセグメント用継手（ウエッジコネクター）の開発試験に合わせて、打設性の調査を行うこととし、実際に曲率のついたSRCセグメント（外径8900mm・幅1200mm・桁高550mm）を製造して実験を行い、SRCセグメントの実用化に向けて総合的判断と、最終的な構造の確認に役立てることにした。本文ではその単体曲げ試験の実験結果を報告する。

2. 試験の概要

(1) 設計概要

セグメント外径8900mm、幅1200mm、桁高550mmとし、表-1の様な条件を仮定し設計を行った。断面決定を行った結果、図-1の様な本体構造となった。

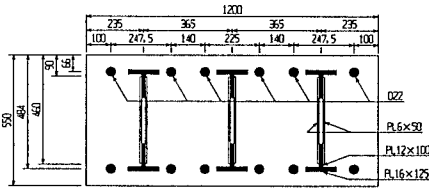


図-1 本体構造

表-1 設計条件

コンクリートの設計基準強度	$f'_{ck} = 48.0 \text{ kgf/cm}^2$
コンクリートの許容曲げ圧縮応力度	$\sigma_{ca} = 17.0 \text{ kgf/cm}^2$
鋼材材質	S M 4 9 0 A
鉄筋材質	S D 3 4 5
土被り高（全土圧）	$H = 42.0 \text{ m}$
地下水水位	$H_w = 20.3 \text{ m}$
側方土圧係数	$\lambda = 0.5$
地盤反力係数	$K = 1.0 \text{ kgf/cm}^3$
内水圧水頭（シールド中心）	33 m
許容応力度	長期許容応力度

(2) 試験方法

載荷方法は設計荷重時の挙動を確認するため、図-2に示すような繰り返し載荷を行い、図-3に示すように鉛直2点載荷、両端可動支持で行った。

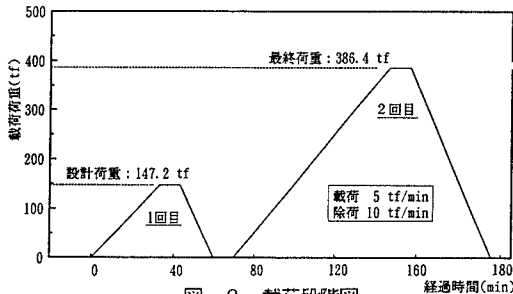


図-2 載荷段階図

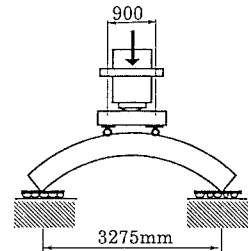


図-3 単体曲げ試験概要図

3. 試験結果

(1) 変位量

図-4は、繰り返し載荷における供試体中央部の鉛直変位を示す図である。1回目の載荷においては、ひび割れ発生($P=45.0\text{t}$) 後からグラフの傾きが鉄骨鉄筋併用構造(RC構造)としての理論値に似ている値を示している。

(2) 鋼材歪量

図-5は2回目の載荷における供試体中央部のトラス梁の歪みを示す図である。ひび割れが1回目の載荷で発生しているため、中立軸の位置は、RC構造の場合に近づいている。

図-6は3本のトラス梁の中央部内面側の歪みを示す図である。各トラス梁が荷重毎に、ほぼ等分担であることを示している。

表-2 試験結果一覧表

	理論値		実測値		安全率
	荷重 (tf)	モーメント (tf・m)	荷重 (tf)	モーメント (tf・m)	
クラック発生荷重	24.1	14.3	45.0	26.7	—
設計荷重	147.2	87.4	—	—	—
破壊荷重	279.1	165.8	386.2	229.3	2.62以上

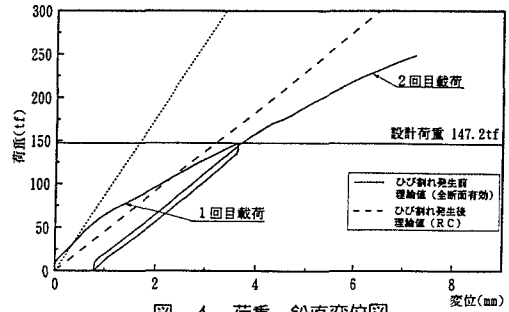


図-4 荷重-鉛直変位図

4. まとめ

ひび割れの分散性については、フランジの波状突起の効果があって、ほぼ配力筋ピッチにひび割れが発生し、1994年の直線梁RC供試体実験結果と同等であることが確認できた。またコンクリート打設性の向上については、トラス梁を採用する事により、容易にコンクリートの充填が可能になった。

本試験の最終荷重は表-2に示す如く、理論値を大幅に上回っており粘り強い挙動になっている。また鉛直変位、鋼材歪み度の実測データを確認したところ、ここでもRC構造としての理論値に合致していた。このことより本構造の実用性への確信が得られた。

今後、実施工に向け設計、検討を行っていく予定である。

最後に本試験を行うにあたり、貴重な御助言、御指導をいただいた東京都立大学 山本稔名誉教授に謝意を表します。

参考文献

- 1) 林、大長、大関：超大型シールド工用セグメント開発実験, 土木学会第49回年次学術講演会, 1994, 9
- 2) 佐久間、本田、橋本：超大型シールド工用セグメント開発実験 ―突起付き鋼材の付着性能及びひび割れ分散性試験―, 土木学会第50回年次学術講演会, 1995, 9

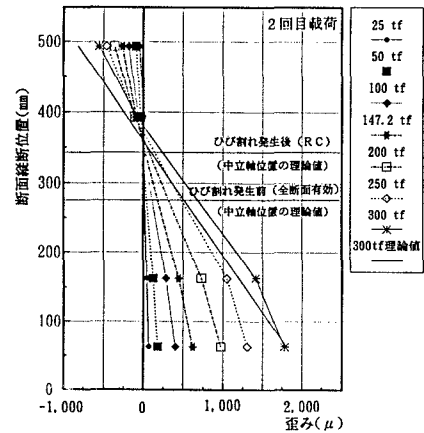


図-5 トラス梁の歪み

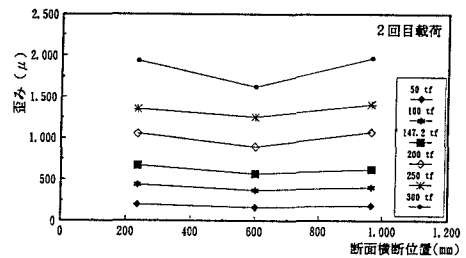


図-6 トラス梁の歪み

Ⅲ-B74 超大型シールド工事用セグメントの開発

-SRC セグメント用継手接合方法の改良-

日本 RC セグメント工業会 正会員 岩田和実 正会員 林 伸郎
正会員 秋田谷聡 正会員 本田和之
正会員 森 孝臣

1. はじめに

日本 RC セグメント工業会では、大断面・超大型シールド工事用セグメントとして、鉄骨鉄筋コンクリート構造（以下「SRC」という）に着目し、1994 年から各種の実験を通じて開発を進め、1997 年に実用試験をおこない、同年に実証施工として実際の現場に適用し、実用化するにいたった。しかしながら、一連の開発実験において使用されてきた継手（ウェッジコネクター）は、継手剛性を高める目的で主構造（鉄骨部）と高力摩擦接合用ボルトを用いて一体化されており、このため主構造の精度確保およびセグメントの製作性に課題を残していた。

そこで上記の課題を克服するため、これまでの高力摩擦接合用ボルトに変わる接合方法として、主構造と継手の間に製作誤差を吸収できる程度のクリアランスを設け、打設時にこのクリアランスにコンクリートが充填されることで継手の荷重を伝達する方法を考案し、モデル供試体を製作して継手部の純引張試験をおこない、接合部の挙動ならびに耐力を確認した。

本文では、今回考案した接合構造および引張試験の結果について報告する。

2. 接合方法の概要

図-1にこれまでの接合方法を、図-2および図-3に今回考案した“ハ”型接合および“T”型接合をそれぞれ示す。図のように“ハ”型接合および“T”型接合では、継手金物は主構造と接触しておらず、継手に発生した応力はクリアランスに充填されたコンクリートを介して、主構造に伝達される接合方法である。

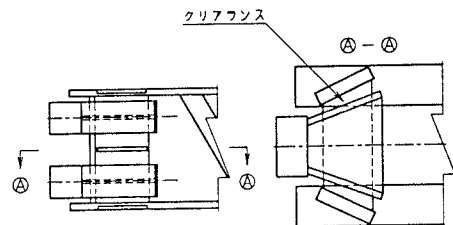


図-2 “ハ”型接合方法

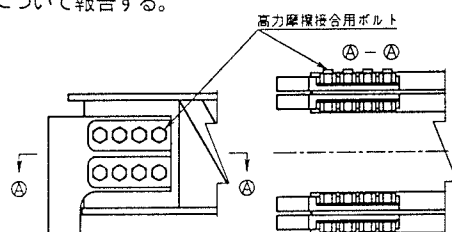


図-1 従来型接合方法

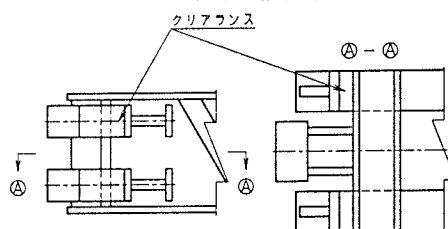


図-3 “T”型接合方法

3. 試験概要

(1) 試験供試体

試験は、外径 10m×幅 1.2m×桁高 0.4m のセグメントを想定し、表-1に示す設計条件を用いて算定した断面の 1/2 幅の平板供試体（1 継手）を用いておこなった（図-4）。

また、表-2に今回行った試験ケースを示す。

表-1 設計条件

土 被 り	50 m
地 下 水 位	GL-15 m
土 質	洪積砂質土
内 水 圧	5 kgf/cm ²

キーワード: SRC セグメント 継手接合構造 ウェッジコネクター “ハ”型接合 “T”型接合

連絡先: 〒108-0014 東京都港区芝 4-2-3 Tel 03-5232-1412

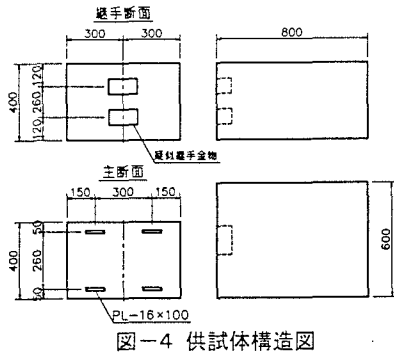


図-4 供試体構造図

(2) 試験方法

試験は、図-5に示すように、門型治具で一方を固定した供試体の継手部をPC鋼棒を用いてセンターホールジャッキにより引き抜く方法でおこなう。

3. 試験結果

(1) 継手の拔出し量

図-6は、荷重と継手の拔出し量の関係を示す。継手の拔出し量は“ハ”型接合の破壊荷重直前で約1.8mm、“T”型接合は205tf 載荷時で約0.25mmであった。参考として行った直結接合の結果と比較すると両接合方法とも大きな値であったが、“T”型接合とすることで継手の拔出しは大幅に小さくできることが確認された。

(2) 主構造への荷重伝達率

表-4に設計荷重時における主構造への荷重伝達率を示す。主構造のひずみより算出した主構造への荷重伝達率は、“ハ”型接合で約130%、“T”型接合で約110%と載荷荷重より若干大きくなっているものの継手部の荷重は、ほぼ着実に主構造へ伝達されているものと思われる。主構造の負担荷重が大きくなった理由としては、主構造に曲げが生じた結果と考えられる。

4. まとめ

今回、改良した継手接合方法を用いモデル供試体を製作したところ、主構造への継手部の取付けならびに型枠への組み込みといった製作性が向上していることが確認された。また引張試験の結果から、“T”型接合が実用に適するものであるとの結論をえることができた。今後は、この知見をもとに継手曲げ試験を行い、SRCセグメント用の継手として、早期の実用化を目指す予定である。

最後に、本試験を行うにあたり貴重なご助言・ご指導を頂いた東京都立大学山本稔名誉教授に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 菊池、長岡、堀：超大型シールド工事用セグメント開発実験、土木学会第50回年次講演会、1995,9
- 2) 長岡、大長、森：超大型シールド工事用セグメント開発実験、土木学会第51回年次講演会、1996,9
- 3) 長岡：薄型化・高強度セグメント、「トンネルと地下」セグメントの新技術(2)、1998 No.10 Vol.29

表-2 試験ケース

	接合方法	設計荷重	破壊荷重
①	直結接合	110.0 tf	205.0 tf (主構造の降伏)
②	“ハ”型接合		
③	“T”型接合		

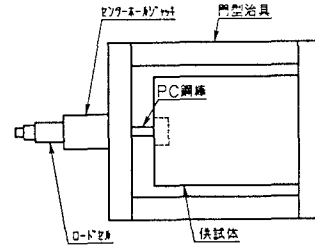


図-5 試験方法

表-3 試験結果の一覧

	クラック発生荷重	最終荷重	破壊箇所
①	70.0 tf	205.0 tf	破壊せず
②	40.0 tf	110.0 tf	補強板の破断
③	42.0 tf	205.0 tf	破壊せず

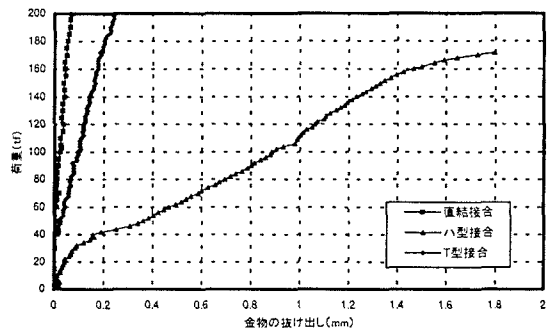


図-6 荷重～継手拔出し量

表-4 主構造への荷重伝達率

	主構造負担荷重	設計荷重	荷重伝達率
①	79.5 tf	110.25 tf	72%
②	140.2 tf	110.05 tf	127%
③	121.2 tf	110.05 tf	110%

注) 計測ひずみが一様に分布するものとして算定

超大型シールド工事用セグメント開発試験1

—SRC セグメントの構造試験—

日本 RC セグメント工業会 正会員小田原 雅敏 正会員 本田 和之
正会員 秋田谷 聡 正会員 橋本 博英
正会員 森 孝臣 正会員 藤野 豊

1. はじめに

日本RCセグメント工業会では、1994年より大断面・超大型シールド工事用セグメントとして、鉄骨鉄筋コンクリート（以下「SRC」という）セグメントの開発を行っており、その一部は、すでに実用化も試みられている。第54回年次学術講演会においては、SRCセグメントの製作性向上を目的とした、継手構造と本体構造の接合（荷重伝達）についての構造と引張試験の結果を報告した。

今回その接合構造を用いた実物大の平板供試体において継手曲げ試験を行った。本文はその試験概要と試験結果を報告する。

2. 水平ウェッジコネクター

M金物（雄金物）は、軸方向から挿入し、楔効果によりF金物（雌金物）と締結する。M金物の軸方向挿入によりセグメント内面は平滑となる。また、図-1に示すように、継手構造と主桁との接合部は、T型非接触接合方法とし、主構と継手の間にクリアランスを設け、コンクリートが充填されることで継手部の引張力が主構に伝達される構造である。また、このクリアランスを35mm（コンクリートの流動性を阻害しない寸法）設けることで、製作誤差を吸収でき、この継手の課題であった主構（H形鋼）の製作精度、及びセグメントの製作性を改善している。

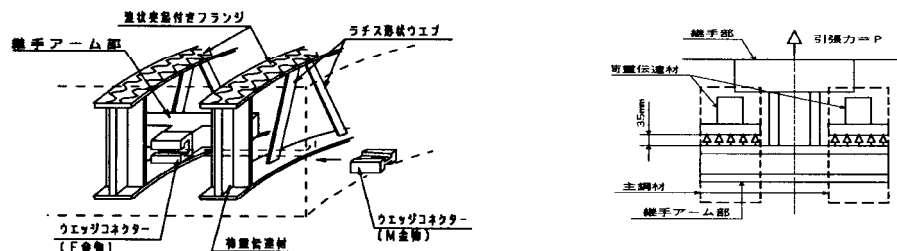


図-1 主構～継手概要図

設計概要

(1) 供試体の設定

供試体は外径 13.5m×幅 1.5m×桁高 0.4m のセグメントを想定し、土被り約 40m の内水圧が作用する地下河川トンネルを仮定し、荷重条件を設定し算出した。「平均剛性一様リングー地盤ばねモデル計算法」により算出された断面力一覧を表-1に示す。尚、荷重ケースは「内水圧が作用するトンネル覆工構造設計の手引き」（（財）先端建設技術センター編）によるものである。

表-1 試験ケース一覧

試験ケース	土被り		地下水位		内水圧	M (KNm)	N (KN)
	大	小	大	小			
CASE-1	○		○			310	4136
CASE-2	○			○		348	3305
CASE-3	○			○	○	337	863
CASE-4		○		○	○	271	105
CASE-5	○			○	●	359	37
CASE-6		○		○	●	250	-712
CASE-7						破壊	0

注）表中で軸力は圧縮が正とする。●は異常時を示す。

キーワード：SRCセグメント 水平ウェッジコネクター “T”型非接触接合

連絡先：〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 1-10-15 JL 日本橋ビル Tel 03-5644-1207

(2) 継手供試体断面

前項で求めた断面力より、各部位の応力度照査を行いRC断面として本体部及び継手部の構造設定を行った。図-2に本体断面、図-3に継手部断面を示す。

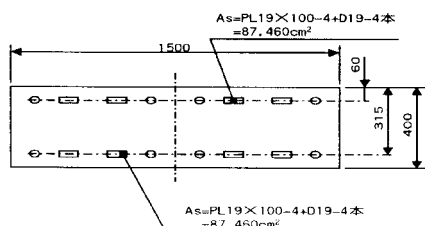


図-2 本体断面

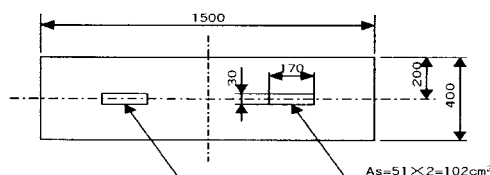


図-3 継手部断面

3. 継手曲げ試験

(1) 試験概要

試験は、図-4の様に幅 1.5m × 桁高 0.4m × 長さ 2.5m の平板供試体を作成して行った。載荷荷重は表-2に示した通り導入軸力を変化させた6ケースと、軸力を解放し破壊まで載荷する計7ケースについて実施した。計測では、供試体および治具の重量により発生するモーメントを補正し、計測値の取り込みを行った。

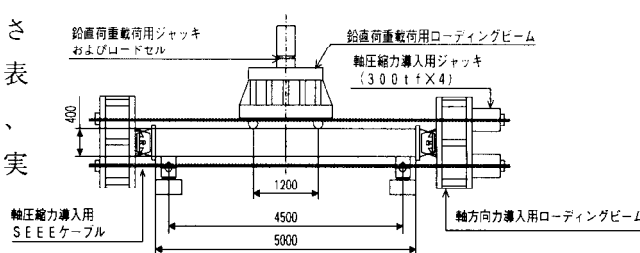


図-4 載荷装置および載荷方法

4. 試験結果

図-5から図-7は各ケースにおける作用モーメントと鉛直変位の関係を示したものである。

- ① 軸圧縮力が高い場合は継手部においても全断面有効の本体理論値に近似した挙動をしめしている。
- ② 作用軸圧縮力が小さくなり、作用モーメントが増加するにつれ挙動は継手部RC断面の理論値の傾きに近似してくる傾向が現れている。
- ③ ケース6においては軸引張力の影響により、軸力なしの場合よりも変位勾配が大きい結果となった。

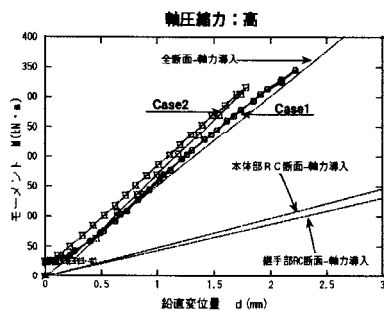


図-5 CASE1、2

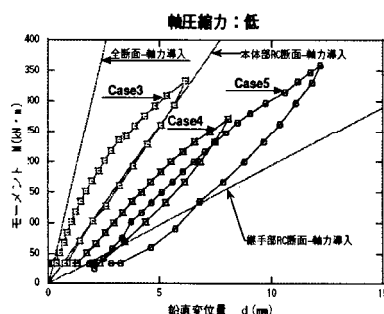


図-6 CASE3, 4, 5

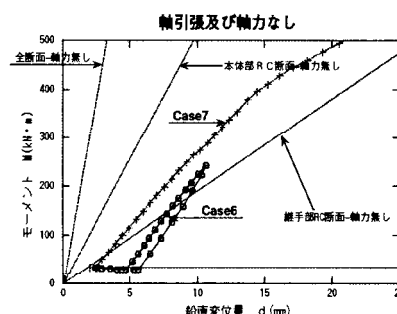


図-7 CASE6, 7

5. まとめ

以上から、本継手構造（継手部～本体部接合構造）においても継手部M金物を鉄筋とみなしたRC断面の理論値に近い挙動を示しており、従来からの設計方法で問題の無いことを確認するとともに、十分な変形剛性を有していることが確認できた。

最後に、本試験を実施するにあたり貴重なご指導・ご助言を頂いた東京都立大学山本稔名誉教授に謝意を表します。

<参考文献>

岩田、林、秋田谷：超大型シールド工事用セグメントの開発、土木学会第54回年次講演会、1999.9

超大型シールド工事用セグメントの開発試験 2

—軸力導入の SRC セグメント継手曲げ試験—

日本 RC セグメント工業会 正会員 岩田 和実 正会員 長岡 省吾

正会員 本田 和之 正会員 秋田谷 聡

正会員 橋本 博英 正会員 森 孝臣

1. はじめに

日本 RC セグメント工業会では、1994 年より大断面・超大型シールド工事用セグメントとして、鉄骨鉄筋コンクリート構造(以下 SRC と呼ぶ)に着目し、各種の試験を行い開発を進めている。第 54 回年次学術講演会では、SRC の特徴である継手部と主構造（鉄骨部）の接合方法として、新たに“T”型非接触接合を考案し、継手の引抜試験を行い、その結果を報告した。本編では、開発の一環としてこの“T”型非接触接合の継手（水平ウェッジコネクター）を用いて行った、軸力導入継手曲げ試験のうち、継手曲げ剛性、継手金物の挙動ならびに最終破壊状況について報告する。

表-1 試験ケース一覧

2. 試験ケースならびに試験方法

2.1 試験ケース

試験ケースは、土被り約 40m の内水圧が作用する地下河川トンネルを仮定し、「内水圧が作用するトンネル覆工構造設計の手引き」：(財) 先端建設技術センター編（以下手引きと呼ぶ）において推奨されている設計条件に従い、平均剛性一様リングー地盤ばねモデル（ $\eta=0.8$ 、 $\zeta=0.25$ ）を用いて試設計を行い決定した。試験ケースの一覧を表-1 に示す。

試験ケース	土被り		地下水位		内水圧	M (kNm)	N (kN)
	大	小	大	小			
CASE-1	○		○			310	4136
CASE-2	○			○		348	3305
CASE-3	○			○	○	337	863
CASE-4		○		○	○	271	105
CASE-5	○			○	●	359	37
CASE-6		○		○	●	250	-712
CASE-7						破壊	0

注) 表中で軸力は圧縮が正とする。●は異常時を示す。

2.2 供試体形状

供試体は、前記の試設計の結果をもとに、桁高 0.4m、幅 1.5m、長さ 2.5m の平板型供試体とした。

2.3 試験方法

試験は図-1 に示す載荷装置を用い、水平方向に軸圧縮および軸引張力が、鉛直方向に 2 点集中荷重が作用することにより行った。また計測にあたっては、供試体および治具の重量により発生するモーメントを補正し、計測値の取り込みを行った。

3. 継手曲げ剛性

図-2 にモーメント～回転角の関係を、表-2 に各試験ケースの設計モーメントにおける回転ばね定数を示す。なお回転ばね定数の算出にあたっては、前試験ケースの残留目開きを 0 に補正している。表-2 から本継手の回転ばね定数は、軸力が卓越する状況 (CASE-1,2) で $100 \sim 70 \times 10^4 \text{ kNm/rad}$ 、その他の状況 (CASE-3～7) で $8 \sim 5 \times 10^4 \text{ kNm/rad}$ 程度であり、前記の「手引き」において設

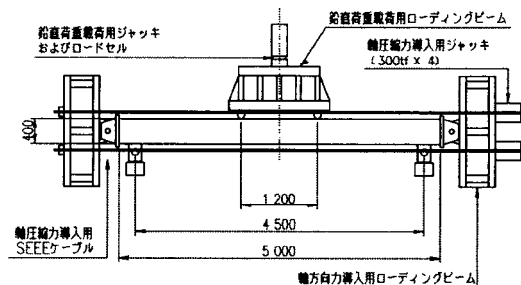


図-1 載荷装置および載荷方法

キーワード：SRC セグメント 水平ウェッジコネクター 二次覆工省略 内面平滑 “T” 型非接触接合

連絡先：〒108-0014 東京都港区芝 4-2-3 Tel 03-5232-1412 Fax 03-5232-2571

計時の回転ばね定数を決定するための
“無次元化した継手曲げ剛性” (K_{θ}^*) は、
ほぼ 1.0 である。

4. 継手金物の挙動

図-3 にモーメント～継手(M)金物のひずみの関係を示す。図-3 に見られるように CASE-1,2 では、継手部に発生する曲げモーメントに対して圧縮軸力が大きく、設計上も全断面圧縮状態となることから、M 金物のひずみに初期締結ひずみからの増加は見られない。また CASE-3～5 では、全断面圧縮ではないものの、圧縮軸力が作用していることから、継手部の発生モーメントが小さいうちはひずみ増加が見られず、圧縮軸力がキャンセルされた時点から M 金物のひずみが増加している。一方、引張軸力および軸力が作用していない CASE-6,7 においては、載荷初期段階より M 金物のひずみが増加しており、CASE-7 の抵抗曲げモーメント： $M_r=310\text{kNm}$ 付近では、およそ 1300μ (270N/mm^2)、 $M=400\text{kNm}$ 付近で M 金物の降伏ひずみである約 1500μ を示している。

5. 最終破壊状況

前項の“継手金物の挙動”で述べたように M 金物は、抵抗モーメントを超えた $M=400\text{kNm}$ 程度で降伏ひずみに達しており、最終破壊状況は、“引張鋼材の降伏後の圧縮側コンクリートの圧壊”という終局理論に則したものであった。また、最終破壊モーメントは $M_u'=652\text{kNm}$ であり、抵抗曲げモーメント： $M_r=310\text{kNm}$ および理論終局モーメント： $M_u=538\text{kNm}$ に対する安全率は、それぞれ 2.1 および 1.2 である。

6. まとめ

本継手曲げ試験により以下のことが確認できた。

- 1) 水平ウェッジコネクタを用いた継手の無次元化した曲げ剛性は、 $K_{\theta}^*=1.0$ である。
- 2) 水平ウェッジコネクタの締結部材である M 金物は、引張部材として有効に機能している。
- 3) 破壊モーメントは理論終局モーメントを上回っており、破壊状況も終局理論に則したものである。

今後は、本試験によってえられた知見を反映した設計を行い、早期の実用化を目指す予定である。

最後に本試験を行うにあたり、貴重なご助言・ご指導を頂いた山本稔東京都立大学名誉教授に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 岩田他：超大型シールド工事用セグメントの開発, 土木学会第 54 回年次学術講演会, 1999, 9
- 2) 長岡他：超大型シールド工事用セグメントの開発実験, 土木学会第 51 回年次学術講演会, 1999, 9
- 3) 長岡：薄型化・高強度セグメント, 「トンネルと地下」セグメントの新技术(2), 1998 No.10 Vol29

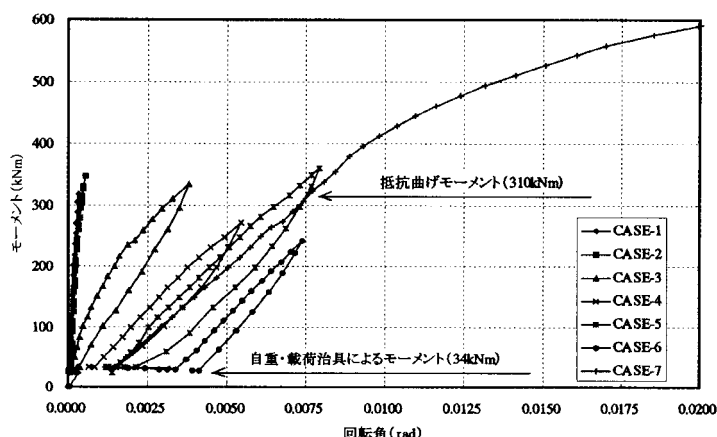


図-2 モーメント～回転角の関係

表-2 回転ばね定数の一覧 $\times 10^4 \text{kNm/rad}$

CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5	CASE-6	CASE-7
115.7	72.9	8.0	5.3	5.1	5.4	4.6

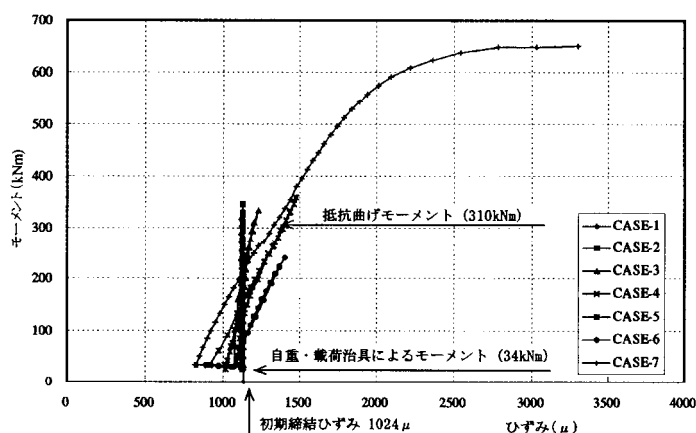


図-3 モーメント～M金物ひずみの関係