

III-629

コンクリート中詰め鋼製セグメントの設計法の提案

鋼製セグメント工業会 正会員○久我 昂、及川 義朗(新日本製鐵株式会社)
 染谷 洋樹(石川島建材工業株式会社)
 佐野 彰(日本钢管ライトスチール株式会社)

1.はじめに

地下構造物の高層化が進み、シールドトンネルが大深度地盤中に施工されるケースが増加しつつある。このような場合、軸力が曲げモーメントより卓越することとなる。この条件に適合する鋼製セグメントとして、著者らはコンクリート中詰め鋼製セグメントを開発し、その基本的な強度特性を確認した¹⁾。本文では、コンクリート中詰め鋼製セグメント設計方法について述べる。その結果、本セグメントの設計方法としては、曲げモーメントを鋼殻に、軸力をコンクリートに負担させる設計方法が簡易かつ合理的であると思われる。

2.セグメントの特徴

本セグメントの鳥瞰図を、図-1に示す。これをみるとわかるように、本セグメントは鋼殻中にコンクリートを充填したセグメントで、既存の鋼製セグメント構造を基本としている。しかし、鋼殻中充填したコンクリートは鋼殻の防食効果を有し、二次覆工の省略も可能であると考えられる。現段階における構造設定を表-1に示す。

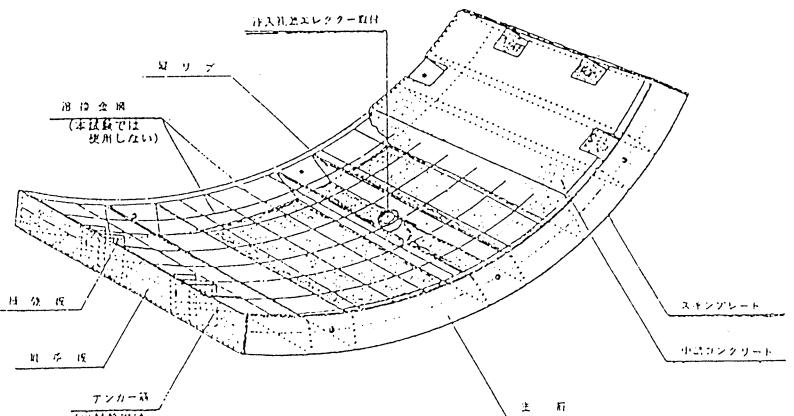


図-1 コンクリート中詰め鋼製セグメント鳥瞰図

表-1 コンクリート中詰め鋼製セグメント構造設定

設定条件	
本体	<ul style="list-style-type: none"> 鋼殻は、曲げモーメントと軸力の一部を負担するものとする。 中詰めコンクリートは、断面の中立軸の圧縮側で軸力の大部分を受け持つものとする。
縦リブ	<ul style="list-style-type: none"> リング継手ボルトの引張力に対応する。 ジャッキ推力の応力に対応する。
ボルトの配置	<ul style="list-style-type: none"> リング間は止水性の確保から、ボルト間隔は600mm程度以下とする。 セグメント間は応力伝達から、鋼殻のリブ(主筋)近く配するのが良いが、リング間と同様に止水性も考慮したものとする。
中詰めコンクリート	<ul style="list-style-type: none"> 設計基本強度は応力分担の関係から、240kgf/cm²程度とする。 二次覆工省略型トンネルにおいては、耐久性を考慮して、中詰めコンクリートを盛り上げるものとする。
吊手金具	<ul style="list-style-type: none"> エレクター兼用注入孔とする。
ボルトボックス	<ul style="list-style-type: none"> ボルト締め付け空間はRC系セグメントと同様にする。
剥離状欠けの落下防止	<ul style="list-style-type: none"> 内面の表面近くの剥離状欠けの落下防止のため、溶接金網またはラス材を入れるものとする。

3.セグメントの設計

本セグメントの設計方法として、①鋼殻本体のみ有効とする方法(コンクリートを無視する方法)、②中立軸より圧縮側のコンクリートのみ有効と考え、その部分を強度部材として鋼に置き換える方法、③曲げモーメントを鋼殻に、軸力をコンクリートに負担させる方法が考えられる。以下ではこれら3つの設計方法の特徴を示し、本セグメント設計への適用性について述べる。

(1) 鋼殻本体のみ有効とする方法

この設計方法は、従来の鋼製セグメントの設計に基づくものであり、中詰めしたコンクリートの強度性能は無視している。これは、鋼殻中のコンクリートの挙動が明らかでないため、鋼殻とコンクリートとの合成構造と評価するのは困難だからである。実際、コンクリートを鋼殻中に中詰めした鋼製セグメントは、これまで二次覆工をしないシールドトンネルにおいて採用された実例がある。しかし、この場合はジャッキ推力はコンクリートに負担させるものの、本体の設計は鋼殻本体のみで行われている。つまり、コンクリートは基本的には防食部材として扱っている。この方法は、設計的には安全側の設計となり危険性の最も少ない設計方法であるが、実験からも中詰めコンクリートがセグメント荷重を負担するのは明らかであり²⁾、合理性にやや欠ける設計法であると思われる。

(2) コンクリート(圧縮側)を鋼に置き換える方法

この設計法は、まず鋼殻のみで中立軸を求め、その中立軸より圧縮側のコンクリートを強度部材として設計に盛り込む方法である。圧縮側のコンクリートのみ有効としたのは、コンクリートの引張り強度が圧縮強度と比較して小さく、引張り側のコンクリートがすぐに破壊してしまうためである。コンクリートを鋼に置き換える弾性係数比は、通常のRC系セグメントの設計にも用いられる弾性係数比15、あるいは合成桁の設計に用いられる7³⁾が考えられる。この場合、この弾性係数比によりセグメントの設計が大きく左右されるため、強度部材としてのコンクリートの評価基準を検討する必要があるものと思われる。

(3) 曲げモーメントを鋼に、軸力をコンクリートに負担させる方法

この設計法は、鋼が曲げモーメントに強く、コンクリートが軸力に強いという双方の長所を設計に盛り込む方法である。セグメント本体の設計は、セグメント本体に作用する断面力のうち、正負の最大曲げモーメントとその位置に生ずる軸力を用いて計算した主桁応力度が許容応力度を満足しているか否かで行われる⁴⁾。このうち、軸力に対する応力度は部材の断面積により決定する。しかし、鋼製セグメントの内部は中空であるため有効断面積は、同等の桁高を有するRC系セグメントと比較して小さい。ここで、コンクリートが圧縮に強いという特徴に注目して軸力はコンクリートが負担すると考えると、鋼殻の主桁厚を厚くすることなく、セグメントの設計が可能となる。これにより、構造的にも経済的にも合理的なセグメントが設計できるものと考えられる。この方法を用いるにあたっては、曲げモーメントと軸力が同時に作用する状態におけるセグメントの強度特性および挙動を明らかにする必要があるものと考えられる。

上の3つの方法を比較すると、現段階では(3)が簡易かつ合理的な設計方法であると考えられるが、セグメントの特性とともにそれに適した設計方法の検討が必要であると思われる。

4.まとめ

本研究は、鋼製セグメント工業会における開発として行ったものである。今後は、本セグメントの基本性能をより明らかにするとともに、合理的な設計方法の検討を行っていく予定である。末尾となりましたが、本研究を進めるにあたって御指導頂いた早稲田大学の村上名誉教授、小泉教授の慎んで謝意を表します。

<参考文献>

- (1)(2)三木甫・大口克人・浅野裕輔：コンクリート中詰め鋼製セグメントの強度特性、土木学会論文集、1994
- (3)土木学会：トンネル標準示法書(シールド編)・同解説
- (4)(社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説

III-631

コンクリート中詰め鋼製セグメントの強度特性

鋼製セグメント工業会 正会員○三木 甫、佐野 陽一(新日本製鐵株式会社)
 " 大口 克人(日本鋼管ライトスチール株式会社)
 " 浅野 祐輔(石川島建材工業株式会社)

1.はじめに

地下利用の高度化・高層化に伴い、シールドトンネルも大深度化する傾向にある。このような場合、セグメントに作用する断面力としては、軸力が曲げモーメントよりも卓越することとなる。そこで、著者らは既存の鋼製セグメントにコンクリートを中詰めし、曲げモーメントを鋼で、軸力をコンクリートで負担させる合理的なセグメントの開発に取り組んでいる。本文では、このコンクリート中詰めセグメントの強度試験を行いセグメントの基本的な強度性能及びコンクリートがセグメントに及ぼす影響について考察している。

2.実験方法

(1)供試体

供試体の基本形状を表-1に、仕様を表-2に示す。
 供試体としては、コンクリートを中詰めしたものと比較のためにコンクリートを中詰めしないものを作製した。コンクリート中詰め鋼製セグメントの供試体は、鋼殻の中にコンクリート($\sigma_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$)を充填、所定の期間(14日)養生して作製した。

(2)実験方法

平面上で両端可動支持として2点集中載荷で単体正曲げ試験(図-1)及び単体負曲げ試験(図-2)を最終状態まで載荷し、コンクリート表面のひび割れは目視により確認した。

3.実験結果と考察

表-3に実験結果一覧を示す。コンクリートのひび割れ発生荷重に注目すると、正曲げ試験の場合はコンクリート表面が引張り側となるため載荷の早い段階(3.8tf)でひび割れが発生している。一方、負曲げ試験ではコンクリート表面が圧縮側となるため最終荷重近く(74.7tf)までひび割れは発生していない。また、最大荷重等を比較しても、負曲げ試験においてコンクリートの影響が顕著である。これより、本セグメントの強度特性に対してコンクリートの状態が及ぼす影響は大きく、特にコンクリートが強い強度を発揮する負曲げ状態においてその効果が大きいと考えられる。

図-3、4に、載荷荷重における主桁ひずみの分布を示す。これらを比較すると、コンクリートを中詰めす

表-1 供試体の基本形状

ベースセグメント		中詰めセグメント M8-1	
使用セグメント	中詰めセグメント	A1セグメント	中詰めセグメント
外径		Φ215.0mm	
内径		100.0mm	
板厚		12.5mm	

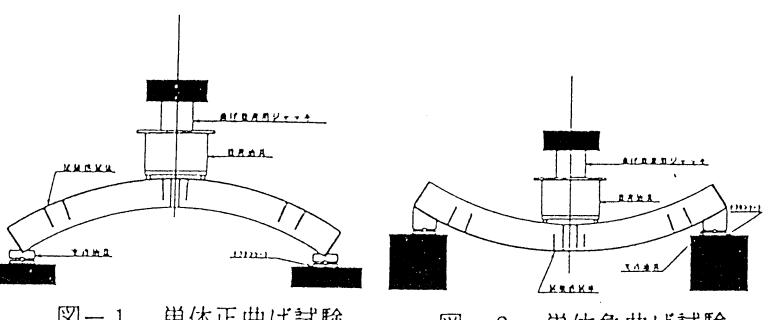


図-1 単体正曲げ試験

表-2 供試体の仕様

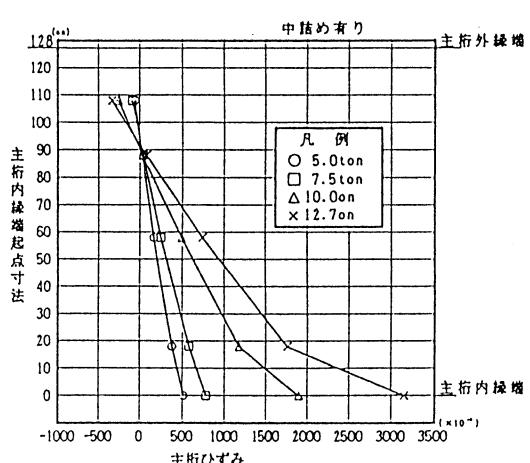
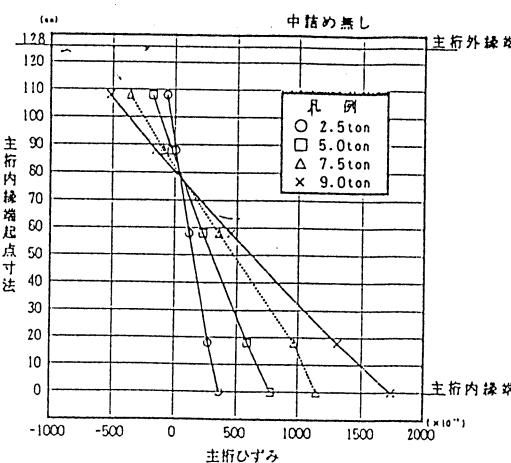
項目	正曲げ	負曲げ	横手板	底手板	縦リブ	中詰め
SW10A	3.0	3.0	1.0	1.0	7.0	■

表-3 試験結果一覧表

主軸ひずみ ($\times 10^{-6}$)	載荷方向	中詰め	ひび割れ発生 荷重(tf)	主桁の最高ひずみ 荷重(tf)	主桁の最大ひずみ 荷重(tf)	最大荷重 (tf)
3.0	正	■	—	6.0	6.0	11.7
3.0	正	□	3.4	1.5	1.5	22.7
3.0	負	■	—	5.5	10.5	21.3
3.0	負	□	71.1	71.1	14.4	74.7

ることにより中立軸の位置が主桁外縁側に遷移しているのがわかる。これは、鋼殻がコンクリートを押さえつけようとする反力により、主桁内縁側に大きなひずみが発生し

たことにより平図-3 載荷荷重における主桁ひずみの分布



面ひずみ状態が変化し、中立軸の位置が遷移したものと考えられる。また、載荷の進行に伴いコンクリートのひび割れは発達したが、最終荷重到達時においてもコンクリートの脱落はなかった。これは、セグメント中の縦リブで仕切られたコンクリートブロックが、縦リブで拘束されることにより脱落が防止されたものと考えられる。これらのことから、本セグメントの鋼殻とコンクリートは一体として存在しており、鉄筋を配しない簡易な合成構造といえるのではないかと考えられる。

図-5、6に、荷重～主桁ひずみ関係を示す。これらを比較すると、正曲げ状態に対してはセグメントに及ぼす中詰めコンクリートの影響が小さいこともあり、破壊形式は類似している。一方、負曲げ状態に対してはコンクリートを中詰めしなかった方は塑性変形しているのに対し、コンクリートを中詰めした方は脆性的な破壊を示している。これは、セグメントの破壊が正曲げ状態では中詰めコンクリートの有無に関わらず鋼殻の破壊で決定しているのに対し、負曲げ状態ではコンクリート中詰め鋼製セグメントの破壊がコンクリートの圧壊により決定しているためであると考えられる。さらに、負曲げ状態においてはコンクリートを中詰めしたことにより、スキンプレートの有効幅が増加するものと考えられる。通常、セグメントの主断面におけるスキンプレートの有効幅はスキンプレート厚の25倍とされている¹⁾。スキンプレート厚の25倍有効および全幅有効として算定した終局荷重と実験値とを比較したところ、スキンプレート厚の25倍有効(27.1tf)、全幅有効(63.2tf)、実験値(79.4tf)となり、全幅有効とした場合の方が実験値により近い値となった。

したがって、負曲げ状態においてはスキンプレートは全幅有効の方が実際の状態に近いものと考えられる。以上のことから、本セグメントは高強度を有するセグメントであるといえる。

4.おわりに

本研究は、鋼製セグメント工業会の開発として実施したものである。この実験結果より、本セグメントが高強度を有することが確認された。今後、本セグメントに最適な継手構造やスキンプレートの有効幅の検討等を行い、合理的なコンクリート中詰めセグメントの設計・製造方法の確立を課題として考えている。末尾となりましたが、本研究を行うにあたって御指導頂いた早稲田大学の村上名誉教授、小泉教授に慎んで謝意を表します。

<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

中部電力(株) 近藤 久雄
新日本製鐵(株) 正会員○鯨田 実, 佐野 陽一

1.はじめに

現在シールドトンネル工法の発達は著しく、一次覆工材としてのセグメントに対する要求も多種・多様なものとなってきている。こうした情勢のなかで、工期の短縮を目的として二次覆工を省略し一次覆工のみ施工する方法が考えられている。しかし、鋼製セグメントの場合、鋼材の防食上等の課題から二次覆工を施工するのが一般的であった。そこで、コンクリートの防食効果を期待して、鋼殻の内側にコンクリートを中詰めすることにより二次覆工省略可能な鋼製セグメントを開発し、その強度特性について調べた。本セグメントに充填したコンクリートは防食効果のみ期待したもので、断面力は鋼殻のみで負担するものと考えていた。しかし、今回の実験より中詰めコンクリートが防食効果のみでなくセグメントの高強度化にも関与しており、本セグメントが優れた強度特性を有することが確認できた。

2.実験方法

(1)供試体

供試体には、桁高150mm、セグメント幅1000mm、弧長2066.4mmのセグメントにコンクリートを充填したもの(図-1)を使用した。その作製順序は以下の通りである。

①鋼殻を製作する(従来の鋼製セグメントと基本的には同じであるが、縦リブはジャッキ推力を中詰めコンクリートに負担させるため簡易な直リブ構造とした)。

②鋼殻の中にコンクリートを充填する

($\sigma_{ck} = 280 \text{ kgf/cm}^2$)。

③養生マットを被せ所定の期間コンクリートを養生させる(14日、28日)。

(2)実験方法

平面上で両端可動支持として2点集中載荷で単体曲げ試験を行い、最終状態まで載荷した(図-2)。

3.実験結果と考察

(1)単体曲げ試験

図-4に載荷荷重-主桁内縁側ひずみ関係を、図-5に載荷荷重-主桁中央部たわみ関係を示す。図中の破線はセグメントの鋼殻のみが有効であるとし

て算定したひずみおよびたわみを、一点鎖線はこのときの設計許容荷重を示したものである。これらをみると、載荷荷重とひずみおよび載荷荷重とたわみの関係がよく類似しており、今回の実験は再現性の高いものであるといえる。図-4より、主桁内縁部の応力度が鋼材の許容応力度(905μ)および降伏応力度(1619μ)を突破した荷重は、養生日数14日で8tf、12tf、28日で9tf、14tfと読みとれ、いずれも養生日数の長い供試

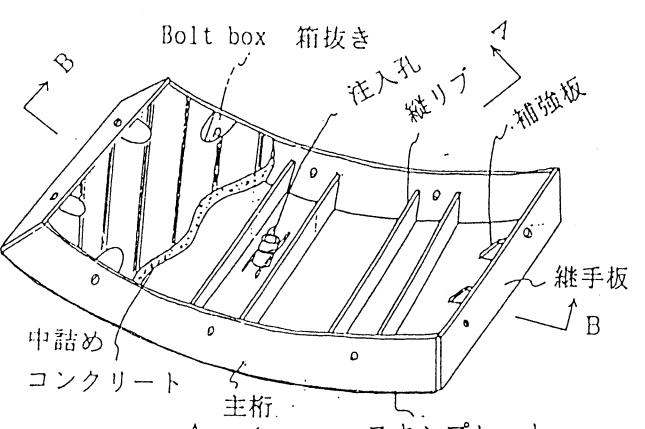


図-1 供試体

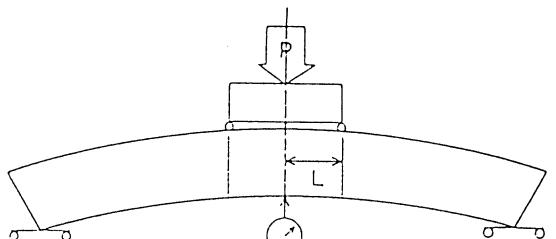


図-2 単体曲げ試験

体の方が大きな荷重を示している。これは、養生日数の長い供試体の方がコンクリート強度が大きいためであると考えられる。また、実験結果と算定値を比較すると、いずれの場合も実験値の方が安全側の値を示していることがわかる。さらに、傾きに注目すると、傾きが載荷の進行に伴って直線の傾きが緩くなる方向へ変化していることがわかる。これは、中詰めコンクリートの状態が大きく影響しているためであると考えられる。つまり、載荷によるコンクリートの破壊が進行するにつれて、コンクリートが荷重を負担する割合が減少し鋼殻が荷重を負担する割合が増加するためであると考えられる。さらに、傾きの大きく変化する箇所が2カ所あることから(載荷荷重2tf付近と、載荷荷重9tf付近)、本セグメントの破壊過程は次の3段階に分類できると考えられる。

- ①コンクリート亀裂発生するまでの段階(引張り側のコンクリートも含めて全断面有効)。
- ②コンクリートが破壊するまでの段階(圧縮側のコンクリートと鋼殻のみ有効)。
- ③圧縮側のコンクリートの破壊した後の段階(鋼殻のみ有効)。

一方、載荷荷重が3tfの段階で、載荷点に近い鋼殻の縦リブ近傍のコンクリートにクラックが発生していたが、最終荷重に到達した段階においてもコンクリートの脱落はなく、特別なコンクリート脱落防止構造を施さなかったにも関わらず鋼材と中詰めコンクリートは一体構造を保持していたものと考えられる。したがって、コンクリートは鋼殻内部に拘束された状態で存在していることとなり、このことがセグメントの高強度化に影響を与えていたものと思われる。以上のことから、中詰めコンクリートはセグメントの耐力向上に関与しており、こうした傾向は載荷荷重が小さい段階で特に顕著であると考えられる。

4.おわりに

今回の実験結果より、鋼殻に充填したコンクリートは防食効果のみでなく、セグメントの高強度化に少なからず関与しているものと考えられる。これは、鋼殻による拘束効果が影響しているものと考えられるが、現段階では結論を得るまでは至っていない。今後は、中詰めコンクリートの適正な評価による合理的設計手法の確立および本セグメントの製作性・施工性の検討を課題として考えている。

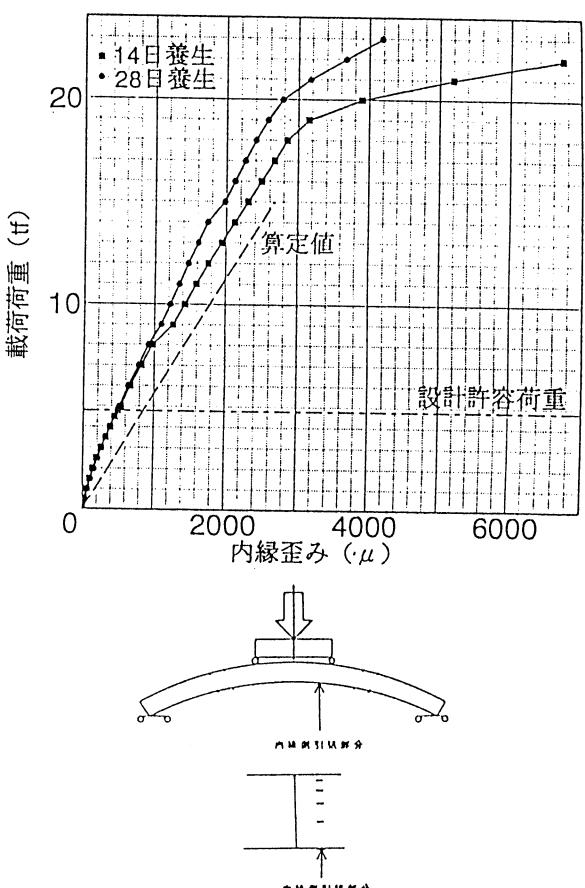


図-3 載荷荷重-主桁内縁側ひずみ

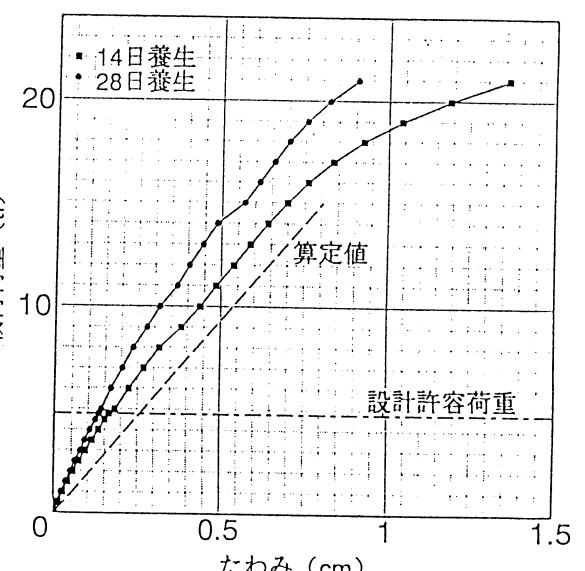


図-4 載荷荷重-主桁中央部たわみ

2. コンクリート中詰め鋼製セグメント

2・1 セグメントの構造と特長

本セグメントの概要は図-1に示す通りである。この図からわかるように、本セグメントは既存の鋼製セグメントの鋼殻を基本としており、この中に縦リブで仕切りを設けてコンクリートを中詰めした簡易合成構造である。このセグメントは既存のセグメントと比較して次のような特長を持っている。

- (1) 合成セグメントに比して製造が容易であり、かつ経済性に優れている。
- (2) セグメント本体は鋼殻で外面を覆われているため完全止水構造であり、かつ運搬時などの損傷が発生しないため、取り扱いが容易である。
- (3) 施工時の推力は、中詰めコンクリートにとらせる合理的な構造である。
- (4) 内面にコンクリートを充填しているため二次覆工を省略した用途に使用でき工期の短縮が図られる。
- (5) 割れ・欠けのない覆工が得られることにより、桁高の小さいセグメントでも太深度の高水圧下において、安全な施工が可能となる。

2・2 強度の確認

本セグメントのコンクリートを中詰めしたことによる基本的な強度特性を確認するため、正・負の単体曲げ試験とジャッキ推力試験を実施した。この試験により、従来の合成セグメントで設けられているようなジベル筋等を全く配さない本セグメントの耐力と剛性について確認した。

今回の試験は、あくまでもセグメント本体の強度確認を行ったものであり、継手については、今後に検討を行う課題としている。

3. 試験内容

3・1 試験方法

単体曲げ試験は、正曲げ・負曲げについて、図-2、図-3に示すように、両端可動の単純支承とし、支点中央に載荷点支間を300mmとした2点集中荷重を載荷した。計測は載荷の各段階での鋼殻の主桁のひずみ、鉛直変位、およびコンクリートのひび割れを確認しつつ、破壊に至るまで載荷した。

ジャッキ推力試験は、図-4のように、ジャッキ・スプレッダーに相当する載荷治具にジャッキ偏心量を設定して、荷重を段階的に載荷し、載荷の各段階での縦リブとコンクリートの表面ひずみを計測すると共に内面のコンクリートのひび割れを確認した。

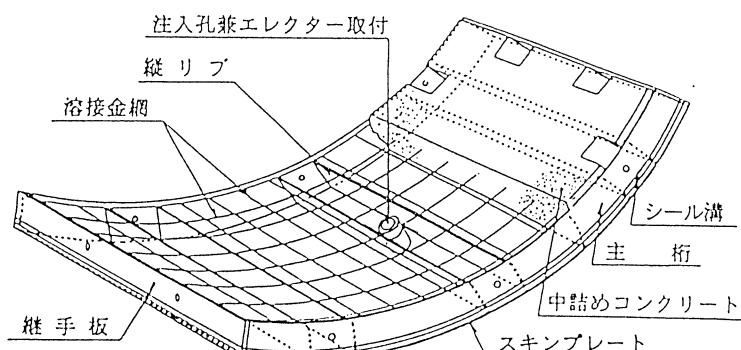


図-1 コンクリート中詰め鋼製セグメント概要図

3・2 供試体と試験ケース

供試体の基本形状と仕様を表-1、表-2に、曲げ試験の試験ケースは、主桁厚、載荷方向、中詰めの有無をパラメータに表-3に示す6ケースとした。

ジャッキ推力試験の試験ケースは、偏心量をパラメーターに10mmと30mmの2ケースとした。

表-1 セグメントの基本形状

ベースセグメント	標準鋼製セグメント M8-1		
使用セグメント	A型セグメント		
外 径	φ 2150 mm		
幅	1000 mm		
桁 高	125 mm		

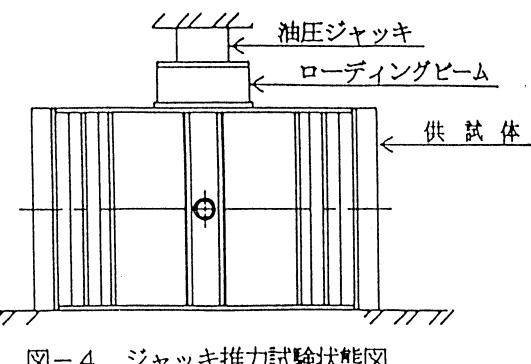


図-4 ジャッキ推力試験状態図

表-2 供試体の仕様

材 質	スキンプレート	主 桁 (mm)	継手板 (mm)	縦リブ (mm)	中詰め コンクリート
SM490A	3.0	8.0	8.0	7.0	無
		8.0	8.0		有
		12.0	12.0		無
		12.0	12.0		有

3・3 単体曲げ試験の結果と考察

(a) 中立軸の位置

今回の試験結果からは、鋼殻にコンクリートを中詰めしたセグメントが大きい耐力を有することが確認された。そこで、このセグメントの耐力を評価するため図-5に耐力計算断面の関係図を示す。ここでは、曲げを受けたコンクリート中詰め鋼製セグメントにおいて平面保持の仮定は成立するものとする。

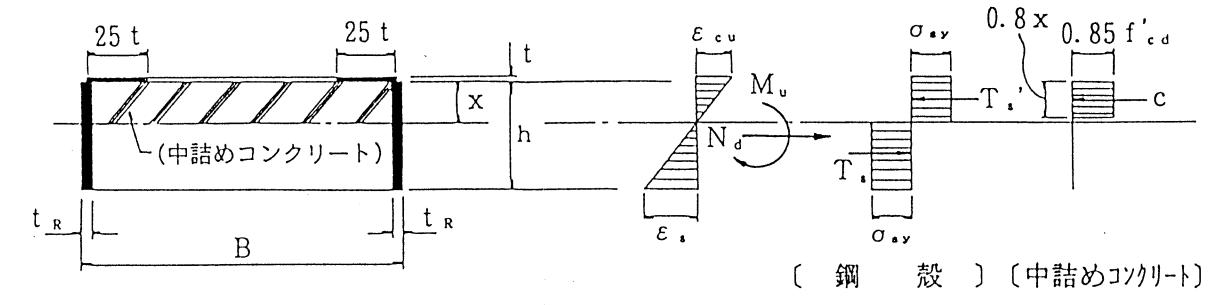


図-5 耐力計算断面の関係図

ここに、 B : セグメント幅

x : 主桁外面から中立軸

M_u : 破壊抵抗曲げモーメント

h : 主桁高さ

までの距離

N_d : 設計軸力

t : スキンプレート厚

ε_cu : コンクリートの終局

f'cd : コンクリートの設計基準強度

t_R : 主桁厚

ひずみ

(= 0.0035)

ε_s : 鋼殻内面のひずみ

σ_sy : 鋼材の降伏点応力度

コンクリート中詰め鋼製セグメントの開発試験結果 LOADING TEST RESULT OF STEEL SEGMENT WITH PRE-FILLED CONCRETE

村上 博智^{*}, 染谷 洋樹^{**}, 佐野 陽一^{***}, 佐野 彰^{****}
Hirotomo MURAKAMI, Hiroki SOMEYA, Youichi SANO, Akira SANO

In recent We construct shield tunnels at deep diaphragm more and more. At deep diaphragm, the axial force is exceeded in the bending moment. Concrete segment is more effective than steel segment against the axial force. But it is difficult to construct concrete segment at deep diaphragm.

We have developed STEEL SEGMENT WITH PRE-FILLED CONCRETE. This segment is Steel Segment which is pre-filled with concrete at the factory.

In this paper, we present the result of several loading tests and consider its strength character. And we suggest the rational design for it.

Keywords:shield tunnel,deep diaphragm,axial force,pre-filled concrete,rational design

1. まえがき

近年ライフラインの地下化が進み、特に都市部においては、これらの施設が主として道路下に過密化・多層化して來たので、大深度地下開発の要望が高くなつて來ている。さらに、熟練労働者不足の問題から、これら地中構造物を、シールド工法によって掘削し、工場製品であるセグメントを用いて構築する工法が一般化して來ている。

大深度に構築される地中構造物は、トンネル周辺の地盤の条件によって、その構造と耐荷機構が異なるものの、一般的には、軸力が卓越する傾向にある。従つて、セグメントを構成する材料と構造は曲げモーメントは勿論のこと、大きな軸力に対して適切なものであることが要求されている。

これらの観点から筆者らは鋼板をビルトアップした骨組構造とその面外変形を拘束するコンクリートとからなる「コンクリート中詰め鋼製セグメント」を開発した。

本報告は、この様なセグメントの単体試験結果とその適正な設計方法について述べたものである。

* 正会員 早稲田大学名誉教授 理工学部

** 正会員 石川島建工（株） セグメント事業部

*** 正会員 新日本製鐵（株） 建材開発技術部

**** 正会員 日本鋼管ライトスチール（株） セグメント技術チーム

試験結果は、偏心量 10 mm 設定の載荷においては、78.7 t f でクラックが縦リブに沿って発生し、偏心量 30 mm 設定の載荷においては、290 t f で載荷面下部の中詰めコンクリートの一部に圧壊が見られ 340 t f 載荷時に縦リブが降伏ひずみに達したことを確認して試験を終了した。今回の外径 2.15 m の供試体が対応する標準的な設計推力は 60 t f であり、試験結果はこれに対して十分大きい耐力が得られ、ジャッキ推力に対しても安定な構造であることが確認された。縦リブの負担するジャッキ推力の圧縮応力の分担率は、ひずみの測定結果から 14 % 程度であり、ジャッキ推力の圧縮応力のほとんどは中詰めコンクリートが負担していることが確認された。

4. セグメント本体の設計

本件のセグメント本体の設計法としては、単体曲げ試験の試験結果の中立軸の位置で述べた、終局限界状態による曲げ耐力により設計することが合理的かつ有効な設計法であると考えられる。この設計法の現時点での考慮すべき点について以下に述べる。

(a) 設計用断面力

設計用断面力は、解析によって得られた断面力に安全率と部材係数を乗じたものとする。

設計用断面力は、現状では終局限界状態に対応した構造系のモデル等が特定できないことから、当面は慣用計算法等で求めた解析断面力をベースに考えるものとした。

$$\text{設計用断面力} \left\{ \begin{array}{l} \text{曲げモーメント : } M_d = M \times \mu \times \gamma_m \cdots \cdots (7) \quad M, N : \text{解析によって得られた} \\ \text{軸 力 : } N_d = N \times \mu \times \gamma_m \cdots \cdots (8) \quad \mu : \text{安全率}, \gamma_m : \text{部材係数} \end{array} \right.$$

(b) 耐力の検討

耐力には、正曲げと負曲げに対するものがあるが、試験結果から負曲げのものが正曲げより十分大きい耐力を持つことが明らかであることから、一般的には、正曲げによる検討で設計を行えば良い。

(c) 設計計算の手順

設計計算の手順は、仮定断面において設計断面力の軸力 (N_d) 作用状態における破壊抵抗曲げモーメント (M_u) を求め、これが設計断面力の曲げモーメント (M_d) を満たすように断面を決定するものである。

5. まとめ

今回の開発検討および強度試験で得られた内容を、以下に列挙する。

- ① 本セグメントは通常のジベル筋等を配さないセグメントではあるが、鋼殻とコンクリートが一体として作用する、安定な構造であることが確認された。
- ② 本セグメントは曲げ作用による降伏破壊時でも、中詰めコンクリートが脱落することがない。その理由としては、縦リブを法線方向に向けて配置しており、コンクリートが扇状に中詰めされるため、抜け出せない取り合いをもっているためと考えられる。
- ③ 以上から、本セグメントは簡易合成構造と定義づけられるような合成構造と考えてよいことがわかった。
- ④ セグメント本体の設計法として、終局限界による設計法を採用することには問題なく、合理的な設計法の適用であると考えられる。

6. おわりに

今回の試験結果とその評価から、コンクリート中詰め鋼製セグメント本体の挙動を把握し、設計法を提案した。今後は大深度地盤における設計を継続も含めて、具体的な検討を行うこととしている。