

大型矩形シールド用サンドイッチ型合成セグメントの構造試験（その1）

京都市交通局
 鹿島・奥村・大豊・吉村・岡野特定共同企業体
 中央復建コンサルタンツ(株)
 住友金属工業(株)

小畑 博 大野 滋久
 杉山 弘士
 畔取 良典
 正会員 ○小林 洋一 前島 稔

1. はじめに

京都市交通局東西線の延線工事において、直上に位置する主要幹線道路の交通処理上の制約等から、鉄道線路部の延長約760mにわたって大断面の矩形シールドを採用した。そのうち、始点側に位置する駅舎部から本線部に接続する区間約60mは、渡り線部と称し、レールの分岐部分となるため、中柱を設置することができない（図1参照）。従って、この区間の矩形断面には曲げモーメントが卓越することから、RCセグメントに比べ曲げ剛性ならびに曲げ耐力が高いサンドイッチ型合成セグメントを採用した。ここでは、その構造性能の確認のために、要素試験として実施した、単体曲げ試験とセグメント継手曲げ試験の結果について報告する。

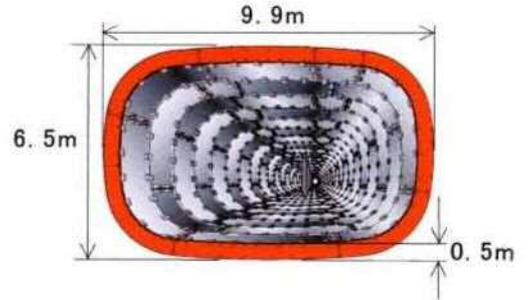


図1 トンネル完成予想図

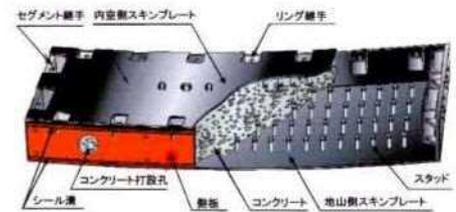


図2 セグメント概要

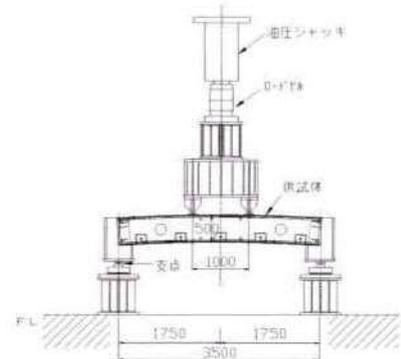


図3 単体曲げ試験状況（正曲げ）

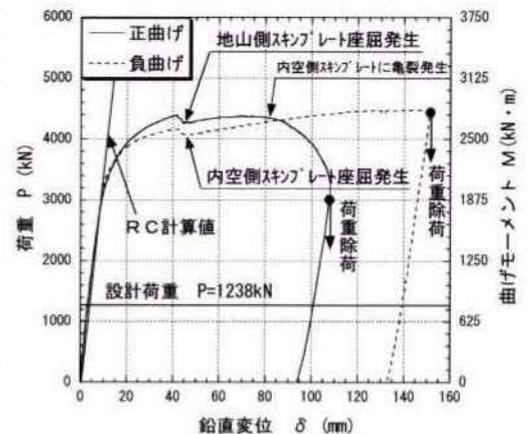


図4 単体曲げ試験結果

2. 合成セグメントの構造概要

セグメント本体は図2に示すとおり、外面を鋼殻で覆い、その中にコンクリートを充填した構造である。鋼板にはスタッドを溶植し、鋼殻とコンクリートの一体化を図っている。継手はボルト締結方式を採用し、セグメント継手は1継手あたり、M36ボルト（強度区分10.9）8本、リング継手はM33ボルト（同左）1本を用いた。ボルト本数は1リングあたりセグメント継手が56本、リング継手が34本である。

3. 単体曲げ試験

3.1 試験概要

セグメント本体の曲げ耐荷性能と破壊形態を確認するため、トンネル頂部に設置される実物大のB型セグメントの曲げ載荷試験を行った。供試体は正曲げ用と負曲げ用の2種類とした。載荷状況を図3に示す。正曲げは供試体を上に凸に、負曲げは下に凸に設置し、2線加力の単調載荷により破壊に至らせた。

3.2 試験結果

正曲げ、および負曲げ試験の荷重と中央部の鉛直変位の関係を図4に示す。まず、初期の曲げ剛性は正曲げ、負曲げ試験ともに、スクリューを鉄筋換算したRC計算によるそれとほぼ一致している。最大耐力は正曲げ時に4390kN、負曲げ時に4480kNと同等であり、設計荷重の約3.5倍と高い耐力が得られた。ここで、設計荷重とは上記RC計算時の鋼板応力が、許容応力（215N/mm²）に相当する計算荷重である。また、何れの試験時にもスクリューの降伏後、圧縮側となるスクリューに面外座屈が生じ、荷重は若干低下するものの、再び徐々に増加し、正曲げ時には降伏変位 δ_y （=10mm）の約11倍、負曲げ時には15倍以上の顕著な変形性能が認められた。これより、本セグメントは外面鋼殻型の合成構造に特有な優れた耐荷変形性能を有していることが確認された。なお、正曲げ試験は変位が80mm付近で、継手ボックスのR部を起点に亀裂を生じたため、耐荷力が徐々に低下し、鉛直変位が107mmで、耐力、変位ともに進展がないと判断し、荷重を除荷した。また、負曲げ試験はジャック

キーワード：シールドトンネル、矩形断面、セグメント、合成構造

連絡先：〒314-0255 茨城県鹿島郡波崎町砂山16-1 TEL:(0479)46-5128 FAX:(0479)46-5147

キストロークの関係上、変位が150mmに達した時点で荷重を除荷した。

4. セグメント継手曲げ試験

4.1 試験概要

セグメント継手部の曲げ耐力性能、および、回転ばね定数を確認するため、継手曲げ試験を行った。継手断面は、図5に示すとおりである。試験は図6に示すように、実物大のセグメント2体をM36ボルト8本で接合し、供試体に軸力を導入しながら、2線載荷による単調載荷を行った。試験ケースは表1に示す4ケースで、その違いは曲げ方向と軸力の有無であり、それぞれ、設計曲げモーメントに達するまで、鉛直荷重を与えた。

表1 試験ケースおよび回転ばね値

試験順序	曲げ方向	軸力 (kN)	設計曲げモーメント (kN・m)	Kθ1 (kN・m/rad)	Kθ2 (kN・m/rad)
case 1	正曲げ	803	557	7.5×10^5	3.7×10^5
case 2		無	472	4.0×10^5	2.2×10^5
case 3	負曲げ	1000	488	3.7×10^5	1.0×10^5
case 4		無	389	2.0×10^5	0.9×10^5

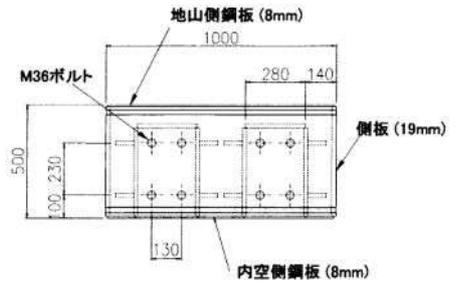


図5 継手断面図

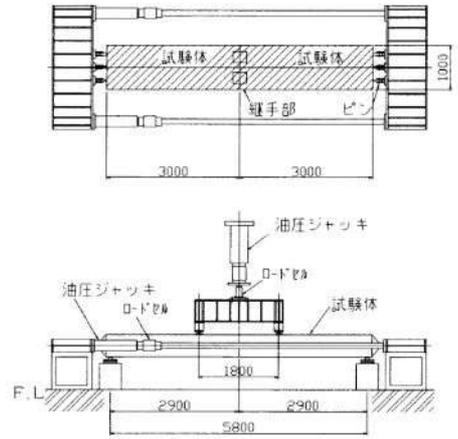


図6 継手曲げ試験状況

4.2 試験結果

(1) 回転ばね定数

図7に正曲げ時のcase 1およびcase 2の曲げモーメントと継手回転角の関係を示す。図8に負曲げ時のcase 3およびcase 4のそれを示す。正曲げ、負曲げともに、継手板が離間する前後で勾配が変化しており、それぞれの勾配から継手の回転ばね定数を算出した結果を表1に示す。継手板離間前 (Kθ1) と離間後 (Kθ2) で若干の違いはあるものの、MK法による理論値で説明できることを確認した。

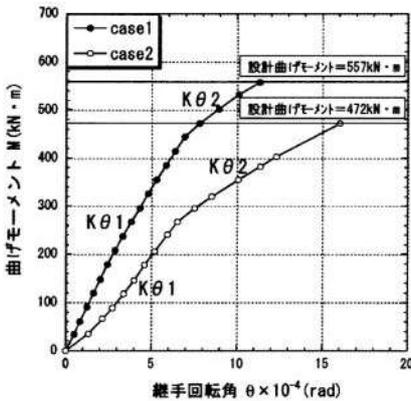


図7 正曲げM-θ関係

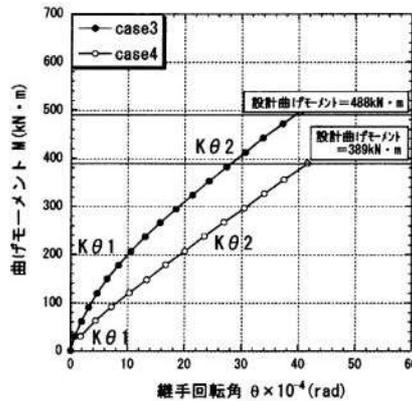


図8 負曲げM-θ関係

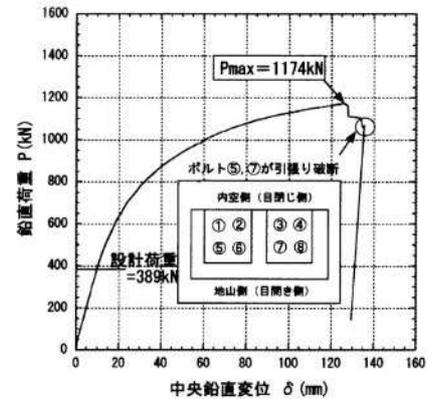


図9 継手負曲げ破壊試験結果

(2) 破壊形態

すべてのケースについてはばね値を確認した後、負曲げ載荷時の破壊形態を確認した。鉛直荷重と中央鉛直変位の関係を図9に示す。破壊形態はボルトの引張り破断で、最大耐力は継手の設計荷重389kNの3倍にあたる1174kNであった。試験後の観察により、図中に示す地山側に位置するボルト⑤、⑦の2本が破断していた。その他、継手板に若干の面外変形が確認されたものの、ボルトボックスを形成している鋼板および溶接部に亀裂等の損傷は認められなかった。また、記載していないが、正曲げ時の破壊試験においても、破壊形態は同様に継手ボルトの引張り破断であることを確認している。

5. まとめ

一連の要素試験により、サンドイッチ型合成セグメントの本体およびセグメント継手の耐力性能を確認した。今回は記載していないが、ジャッキ推力試験、ならびに、リング継手せん断試験についても実施しており、良好な耐力性能を確認済みである。また、最終確認として、実大セグメントによるリング載荷試験¹⁾を実施している。

謝辞：本試験を遂行するにあたり、京都市交通局東西線建設技術委員会と矩形シールド検討WG（座長：京都大学 田村 武 教授）の委員の方々にご指導頂いた。ここに記して謝意を表する。

【参考文献】1) 岡本他：大型矩形シールド用サンドイッチ型合成セグメントの構造試験（その2）；第56回年次学術講演会；2001年10月
2) 中川他：複線断面扁平シールドの課題と対応・京都市高速鉄道東西線（六地藏北工区）；第56回年次学術講演会；2001年10月