

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）

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) 正会員
住友金属工業(株)

岡本 直久
川端 敏之
小嶋 勉
正会員 ○岩橋 正佳 前島 稔

1. はじめに

高速鉄道東西線建設工事（六地蔵北工区）の矩形トンネル形状は縦外径6,500mm×横外径9,900mmであり、本工事はこれまでに類を見ない超大型の矩形断面シールド工事として注目されている。特に、駅舎部から本線部に向かう渡り線部（延長約60m）は、中柱が設置できない1径間の断面形状となり、セグメントには曲げ力が卓越する断面力が作用するため、高強度・高剛性であるサンドイッチ型合成セグメントを採用した。ここでは、セグメント技術検討の一環として実物大セグメントによるリング載荷試験を平成12年度に実施したので報告する。

2. リング載荷試験の概要

本試験の目的は、サンドイッチ型合成セグメントを用いた矩形シールドトンネルの実大モデルに設計荷重と等価な加力を行い、先に報告した（その1）¹⁾の要素試験から得られたばね値を用いた、はり-ばね設計法との整合性を確認することである。

調査項目は、①セグメントの変位量、②本体部スキプレートの発生ひずみ、③セグメント継手ボルトの発生ひずみ、④セグメント継手部の目開き・目閉じ量、⑤リング継手部の目違い量の5項目である。図1に供試体の形状と載荷状況を示す。

供試体は千鳥組した実物大セグメント3リングであり、直径14mの反力壁を有する円形構造試験場内に設置した。ここで、各リングは、上から第1、第2、第3リングと称することとする。載荷は、トンネル頂部・底部・側部・隅角部あわせて8方向から1方向あたり2段の油圧ジャッキにより行った。隅角部は頂部から時計回りにA, B, C, Dと称することとする。

目標荷重は、常時設計の断面力と概ね一致するように、はり-ばね設計法による事前解析により決定した。表1に、目標荷重値と実績比を示す。載荷手順は、目標値の1/10荷重を1ステップとして、頂部・底部→側部→隅角部の順に供試体の安定を確認しながらSTEP10まで載荷した。なお、挙動の調査は主に第2リングに着目して行った。

3. 試験結果

(1) 荷重-変位関係

表2に、設計荷重時（STEP10）における各載荷位置での変位量を示す。この結果、特に変位の大きい位置においては、試験値と解析値は概ね一致しており、はり-ばね解析による設計法の妥当性が確認できる。

(2) 本体部スキプレートの発生ひずみ

表3に、設計荷重時における第2リングのスキプレート発

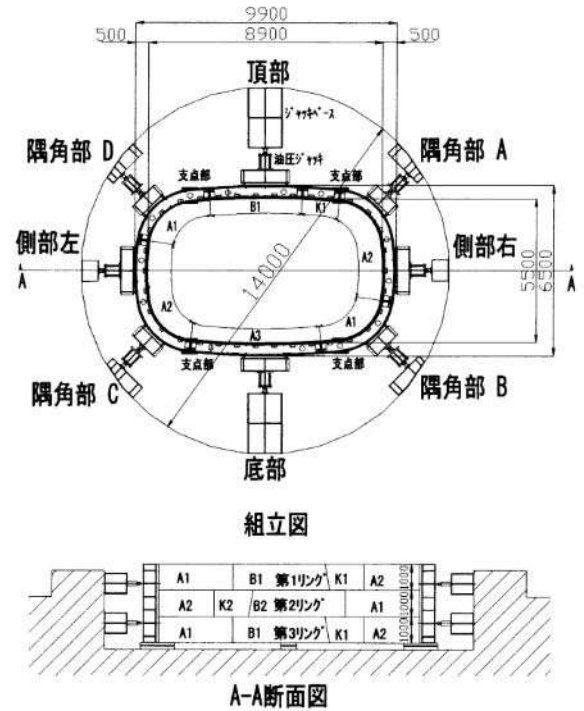


図1 供試体形状と載荷状況図

表1 設計荷重時（STEP10）載荷荷重値（kN）

載荷位置	目標値	実績比	載荷位置	目標値	実績比
1. 頂部	1735	1.00	9. 隅角部A	882	1.02
2. 頂部	1735	1.00	10. 隅角部A	882	1.02
3. 底部	1735	0.99	11. 隅角部B	882	0.99
4. 底部	1735	0.99	12. 隅角部B	882	0.99
5. 側部右	1176	1.14	13. 隅角部C	882	1.01
6. 側部右	1176	1.09	14. 隅角部C	882	1.00
7. 側部左	1176	1.11	15. 隅角部D	882	1.02
8. 側部左	1176	1.09	16. 隅角部D	882	1.00

表2 設計荷重時（STEP10）の変位量（mm）

位置	リング	A:試験値	B:解析値	A/B
頂部	鉛直	-15.5	-16.3	0.95
底部	鉛直	14.5	14.3	1.01
側部右	水平	6.1	6.6	0.92
側部左	水平	-5.5	-6.7	0.82
隅角部A	水平	3.5	2.1	1.67
	鉛直	-2.0	-1.9	1.05
隅角部B	水平	2.6	2.3	1.13
	鉛直	3.3	1.7	1.94
隅角部C	水平	-2.6	-2.0	1.30
	鉛直	2.5	1.7	1.47
隅角部D	水平	-3.6	-2.4	1.50
	鉛直	-1.0	-2.0	0.50

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

生ひずみを示す。また、図3にひずみ計測位置とともに、試験値と解析値を模式的に示す。この結果、負曲げの最大歪位置は④の地山側、正曲げのそれは⑥の内空側で、はりばね解析値と一致する結果となっている。また、この位置での試験値は解析値に比べ、概ね8割以内となっている。この結果は単体曲げ試験時のそれと同じ傾向を示している。

(3) セグメント継手ボルトの発生ひずみ

本試験では、供試体の組立時に各ボルトの初期締付け力として1,800 μ (380kN/mm²)を目標を導入した。設計荷重時におけるボルトのひずみ変動は最大70 μ 程度であった。

(4) セグメント継手の目開き・目閉じ量

表4にクリップゲージで測定したセグメント継手部の目開き・目閉じ量、および、継手曲げ試験¹⁾より得られたM- θ 関係より算出した、継手部の曲げモーメントを示す。また、図4にその位置を示す。

目開き量は最大0.66mmであり、シールド材の止水性能上問題のない値であることを確認した。

次に、曲げモーメントに着目すると、負曲げの最大位置は第1リング⑨、正曲げのそれは第1リング⑧であり、正曲げははりばね解析値と一致している。また、負曲げの試験値の第1リング⑨と第2リング③とは若干の差であり、継手部についても、概ねはりばね解析で、最大位置を予測できるといえる。

(5) リング継手部の目違い量

図示していないが、設計荷重時におけるリング継手部の目違い量は、最大で1.2mmであり、トンネルの頂部付近で発生していた。目違い量についてもシールド材の許容ずれ量(4mm)以内であることが確認された。

4. まとめ

本リング載荷試験より、中柱を設置できない渡り線部に採用した、サンドイッチ型合成セグメントの安全性と、はりばね設計法の妥当性を確認した。今後は、シールドマシンによるセグメントの組立試験を実施し、その組立性を確認した後、平成14年3月からシールド工初期掘進を行う予定である。

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。

【参考文献】1)小畑他：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1）；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

表3 設計荷重時 (step10) 本体部スクリュープレート発生歪 (μ)

位置	曲げ方向	地山側スクリュープレート			内空側スクリュープレート		
		A:試験値	B:解析値	A/B	A:試験値	B:解析値	A/B
①	正曲げ	-463	-546	0.85	526	605	0.87
②	正曲げ	-426	-796	0.54	656	1004	0.65
③	負曲げ	203	335	0.61	-235	-431	0.55
④:Max	負曲げ	661	833	0.79	-630	-832	0.74
⑤	負曲げ	96	75	1.28	-226	-253	0.89
⑥:Max	正曲げ	-625	-838	0.75	748	1024	0.73
⑦	正曲げ	-422	-740	0.57	607	926	0.66
⑧	負曲げ	114	278	0.41	-344	-388	0.89
⑨	負曲げ	381	842	0.45	-467	-827	0.56
⑩	負曲げ	140	113	1.24	-263	-224	1.17

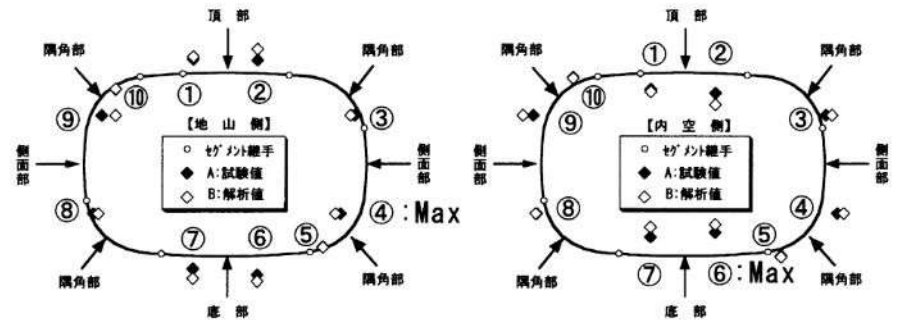


図3 スクリュープレート発生歪°ロット図および計測位置

表4 セグメント継手目開き・目閉じ関係一覧 (正は目開き, 負は目閉じを示す)

位置	曲げ方向	地山側 (mm)	内空側 (mm)	継手回転角 $\theta \times 10^{-4}$ (rad)	曲げモーメントM (kN・m)		
					A:試験値	B:解析値	A/B
①	正曲げ	-0.47	0.03	10.0	529	450	1.17
②	正曲げ	-0.33	0.00	6.6	431	245	1.76
③	負曲げ	0.66	0.04	12.4	-225	Max:-392	0.58
④	正曲げ	-0.05	-0.03	0.4	29	58	0.50
⑤	正曲げ	-0.17	0.01	3.6	255	205	1.24
⑥	負曲げ	0.25	0.06	3.8	-98	-372	0.26
⑦	負曲げ	0.14	-0.04	3.6	-98	-49	2.00
⑧	正曲げ	-0.60	-0.01	11.8	Max: 529	Max: 539	0.98
⑨	負曲げ	0.65	0.01	12.8	Max:-225	-303	0.74
⑩	負曲げ	0.45	0.00	9.0	-186	-333	0.56

第1リング (甲組)

第2リング (乙組)

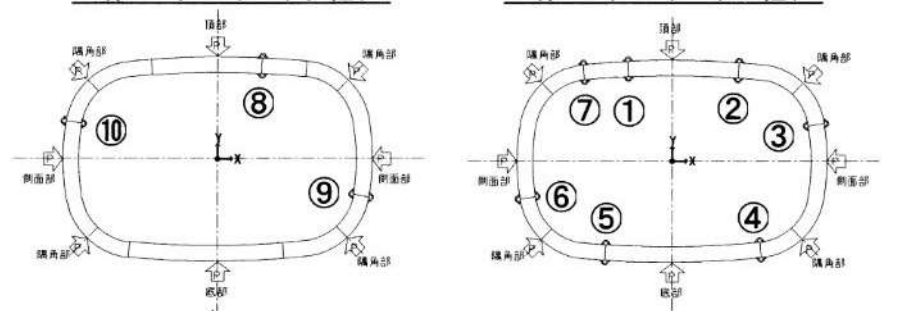


図4 継手およびクリップゲージ設置位置