

大断面シールドトンネルにおける開口部セグメントの設計

鹿島建設(株) 正会員 ○北原雅俊, 小坂琢郎

1. はじめに

近年、シールドトンネルは大断面・大深度化が進み、セグメントリングには大きな荷重が作用する傾向にある。それに伴い、セグメントの開口補強部に作用する荷重も増大してきている。

開口部の設計手法としては、下水道仮設設計マニュアル¹⁾に準拠した単リング解析が一般的に用いられることが多いが、大口径トンネルでは多リング梁ばね解析による設計が行われるケースも増えたきた。最近では、3次元の骨組みモデルやシェルばねモデル、3次元ソリッドモデルによる解析が検討される事例²⁾もみられる。

以上のことから、本報文では、単リング解析、多リング梁ばね解析および三次元シェルばね解析を実施し、それぞれの手法による解析結果を比較検証したので報告する。

2. 設計条件

今回検討の対象としたセグメントの仕様を表-1に示す。

設計断面は、土被り約 50m、水圧約 0.5MPa とした。セグメント配置は、A領域(開口部) 6 リング、B領域(柱部)はその前後 2 リングずつの計 4 リングとし、補強梁はA領域、B領域(柱部)の 10 リングに配置することとした(図-1)。

3. 解析モデル

(1) 改良型の単リング解析

開口リングとなるA領域は、補強梁およびB領域(柱部)の変形を考慮し、開口端部をばね支点とした改良型の単リング解析モデルで検討した。補強梁は開口両側をリングばねによって支えられる弾性床土上の梁としてモデル化し、リングの変形を考慮した解析モデルとした。なお、B領域(柱部)は補強梁の反力を作用させる下水道仮設設計マニュアルに準拠した検討方法とした。図-2に各部位の検討モデル図を示す。

(2) 多リング梁ばね解析

解析モデル図を図-3に示す。補強梁は、直接梁部材としてモデル化できないため、梁の剛性を考慮したリングせん断ばねとしてモデル化した。また、対象範囲は、開口の境界部や異種セグメントの接続調整部を含んだ範囲とした。

(3) 三次元シェルばね解析

セグメントをシェル要素、補強梁をビーム要素としてモデル化した。その他、継手の設定や対象範囲は多リング梁ばねモデルと同様としている。

4. 解析結果

改良型の単リング解析、多リング梁ばね解析と三次元シェルばね解析の結果を表-2に示す。

キーワード：大断面シールドトンネル、開口補強梁、多リング梁ばね解析、三次元シェルばね解析

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株) 土木設計本部地下空間設計部 TEL 03-6229-6736

表-1 開口部のセグメント仕様

	A領域	B領域(柱部)	B領域
主桁仕様	2本主桁 35mm+35mm 材質 SM490B	2本主桁 85mm+85mm 材質 SM570-H	2本主桁 50mm+50mm 材質 SM490C
受桁仕様	[-2750×350×100×100 材質 SM570]		-

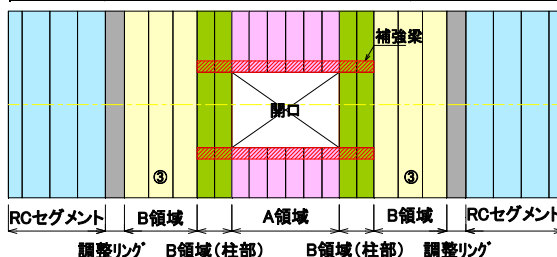
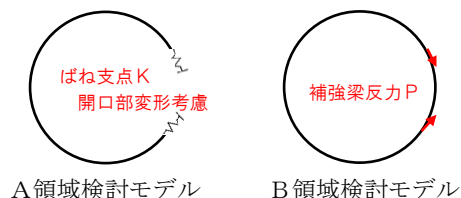


図-1 開口部セグメントの概要



A領域検討モデル B領域検討モデル

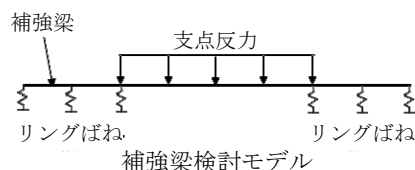
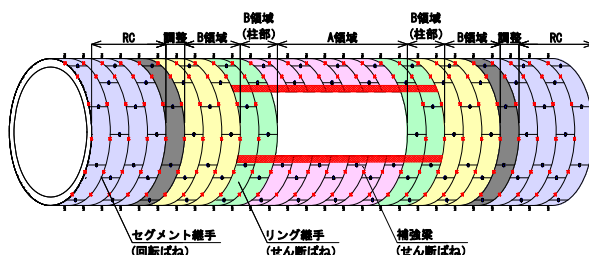


図-2 改良型の単リングモデル



※補強梁の断面力は、せん断ばね反力を補強梁モデルに作用して求める

図-3 多リング梁ばねモデル

(1) セグメント主鋼材の検討結果

A領域（開口部）およびB領域（柱部）では、多リング梁ばね解析に対して改良型の単リング解析の方がやや安全側の検討結果となった。

これは、改良型の単リング解析が添接効果を期待しない解析であることに起因すると考えられる。

また、三次元シェルばね解析は上記2種類の解析結果よりも断面力は小さな値を示した。

三次元シェルばね解析ではセグメントの持つせん断剛性を評価したモデルであり、開口部の変形が抑えられたことにより、断面力が低減されたものと考えられる。

(2) 補強梁の検討結果

補強梁に発生する断面力は改良型の単リング解析と多リング梁ばね解析で有意な差はなく、改良型の単リング解析を実施することで、多リング梁ばね解析と同等の結果が得られることが分かった。

一方で、三次元シェルばね解析と比較すると、上記2種類の解析で発生する補強梁の断面力は大きな値となっている。また、変形量も三次元シェルばね解析では1.5mm程度であったのに対し、10mmと大きな値となった(図-4)。

これは、主断面の結果同様、三次元シェルばね解析がセグメントのせん断剛性を考慮したモデルであるため、補強梁に発生する断面力および変形量が抑えられたためと考えられる。

5. おわりに

大断面シールドトンネルにおける開口補強設計では、比較的簡単な解析モデルである改良型の単リング解析によれば、セグメント主構造を安全に決定できることが分かった。

実務上は、操作性の良い改良型の単リング解析で概略仕様を決定し、その後、多リング梁ばね解析で段階的にリング継手などの詳細な仕様を検討していく設計手順も有効と考えられる。

また、シェルばね解析結果の適用により、さらなる合理化の可能性があることが示唆された。しかしながら、大断面シールドトンネルで三次元シェルばね解析の結果を適用した事例が乏しいため、今後、現場計測結果と解析結果を照合し、設計の妥当性を検証していきたい。

参考文献

1) 下水道仮設設計マニュアル, p. 2-15, 平成 14 年 9 月, 東京都下水道サービス株式会社

2) 大深度雨水貯留管構築に適用するシールド工法に関する技術資料, pp. 116-118, 2008 年 3 月, 財団法人 下水道新技術推進機構。

表-2 検討結果

					単リング解析	多リング解析	シェルばね解析
A領域	断面力	正曲げ	M+	(kN・m)	426	298	219
		最大点	N	(kN)	4969	4857	4903
		負曲げ	M-	(kN・m)	-422	-268	-212
		最大点	N	(kN)	5456	5347	5125
	応力度	正曲げ	σ_o	(N/mm ²)	188	161	147
		最大点	σ_i	(N/mm ²)	24	46	63
		負曲げ	σ_o	(N/mm ²)	38	65	71
		最大点	σ_i	(N/mm ²)	201	168	152
B領域 (柱部)	断面力	正曲げ	M+	(kN・m)	950	677	634
		最大点	N	(kN)	5347	5462	4704
		負曲げ	M-	(kN・m)	-1570	-1174	-1006
		最大点	N	(kN)	15233	12645	13402
	応力度	正曲げ	σ_o	(N/mm ²)	122	102	92
		最大点	σ_i	(N/mm ²)	-30	-6	-10
		負曲げ	σ_o	(N/mm ²)	12	20	40
		最大点	σ_i	(N/mm ²)	263	208	201
補強梁	断面力	中央部	M	(kN・m)	39877	39319	5875
			S	(kN)	0	0	1126
		B領域	M	(kN・m)	14428	14057	1510
		接続部	S	(kN)	16419	16013	10515
	応力度	中央部	σ_l	(N/mm ²)	210	207	31
			τ_l	(N/mm ²)	0	0	4
			合成	-	0.84	0.82	0.02
		B領域	σ_l	(N/mm ²)	76	74	8
			τ_l	(N/mm ²)	64	63	41
			合成	-	0.36	0.34	0.10

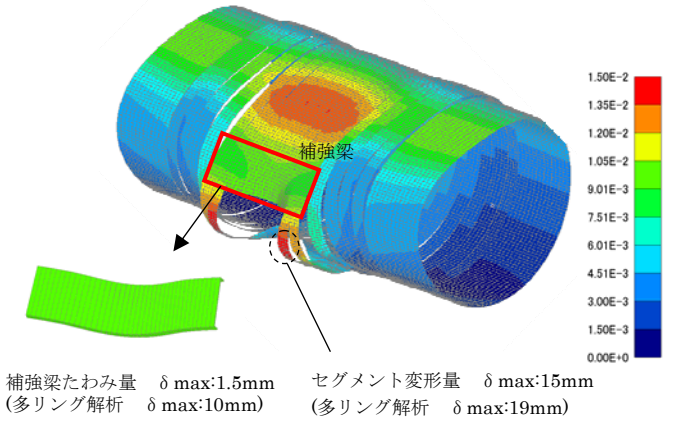


図-4 三次元シェルばね解析による変形図