

I-583

シールドトンネルの耐震性能に関するプレストレス導入効果
ーPC鋼棒とゴムを用いた軸方向プレストレス導入方法についてー

(株)間組技術研究所 正会員 平沢賢治 正会員 松原勝己
同 上 正会員 新井伸夫 正会員 脇田和試

1. まえがき

大地震時にシールドトンネルには、大きな軸方向ひずみが周辺地盤から導入され、セグメントリング間継手部にひずみが集中する可能性がある。この対策として、シールドトンネル軸方向にプレストレスを導入することが考えられる。

本報は、このプレストレスの耐震効果をより有効に発揮させる手段として、セグメント間にゴムを介在させ、PC鋼棒を用いて1リング毎にプレストレスを導入する方法について検討したものである。

2. ゴムとPC鋼棒を用いた軸方向プレストレス導入方法の概念

図-1にゴムとPC鋼棒を用いた軸方向プレストレス導入方法の概念を示す。図-1に沿って本手法を説明すると以下ようになる。

①プレストレス導入前に、セグメントリング間に施した溝にゴムを介在させてセグメントリングを組み立てる。

②セグメントリングを1リングづつPC鋼棒で緊張し、セグメントコンクリート端面が面接触するまでゴムに圧縮ひずみを与える。プレストレス緊張状態においてセグメントコンクリート端面を面接触させる目的は、シールド掘進時のジャッキ推力をコンクリートセグメントの圧縮反力で受けるためである。

③大地震時に周辺地盤より引張ひずみが与えられた場合、プレストレスによってあらかじめゴムに与えられた大きな圧縮ひずみと、PC鋼棒の変形能がこの引張ひずみを吸収する。また圧縮ひずみが十分大きい場合、ゴム内に圧縮応力が残留し、大地震時にも止水性が保持される。

図-2に本手法を大口径シールド断面に適用した場合の概念図を示す。

3. ゴムの形状寸法およびPC鋼棒の使用本数の検討

3-1 想定シールドトンネルおよび想定入力地震動

検討シールドトンネルは、図-2に示した形状寸法を持つものと想定した。また、地震時に周辺地盤から導入される引張ひずみの最大値は 2×10^{-3} と仮定した。表-1に想定シールドトンネルの諸元を示す。

3-2 ゴムおよびPC鋼棒の諸元

介在するゴムの弾性係数は導入する圧縮ひずみが有効にゴムに伝達されるように、RCセグメントの弾性係数の1/5000と小さくし、そしてPC鋼棒には丸棒B種1号(JIS G 3109-1977)を使用することとする。ただし、想定した地震動に対してシールドトンネルがより優れた耐震性能を発揮できるように、ゴムの形状として幅を2種類、厚さを2種類、そしてシールドトンネル軸方向断面に占めるPC鋼棒の断面積を4種類設定し、各項目を組み合わせてできるシールドトンネルの応答を試算した。ゴムおよびPC鋼棒の諸元を表-2に示す。

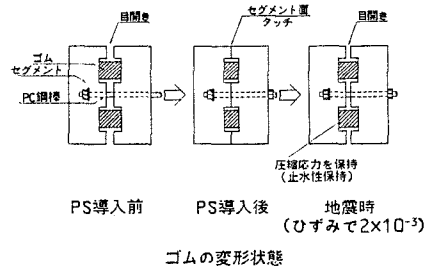


図-1 プレストレス導入法の概念図

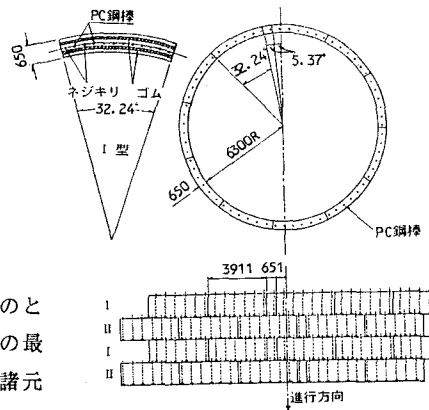


図-2 本手法におけるシールドトンネルの概念図および形状寸法

3-3 検討項目および検討方法

上記のゴム・PC鋼棒を用いたシールドトンネルの種々の状況下における挙動に対して、以下のような検討項目および要求品質を掲げた。すな

表-1 シールドトンネルの諸元

一次掘工外径	13900	mm
内径	12600	mm
厚さ	650	mm
断面積	27.057	m ²
セグメント長	1500	mm
ヤング係数	3.75×10 ⁸	tf/m ²

※二次掘工は考慮せず

表-2 ゴム・PC鋼棒の諸元

硬質ゴム厚さ	26	mm
	39	mm
断面積	13.528(A _s /2)	mm ²
	6.764(A _s /4)	mm ²
ヤング係数	750.0	tf/m ²
PC鋼棒断面積	9.892×10 ⁻² (φ32×123)	mm ²
	5.496×10 ⁻² (φ32×68)	mm ²
	2.825×10 ⁻² (φ23×68)	mm ²
	2.389×10 ⁻² (φ26×45)	mm ²
降伏応力	9500	kgf/cm ²
ヤング係数	2.0×10 ⁷	tf/m ²

わち、①プレストレス導入後のひずみが2×10⁻³以上必要である、②プレストレス導入後のPC鋼棒の応力が降伏応力の60%以内である、③想定ジャッキ推力18500tfがセグメントに作用したときに、PC鋼棒内の応力が大きく減少しないこと、④想定最大地震時に、ゴムの内部には止水性を確保するために十分な応力が残留していること、⑤想定最大地震時に生じるPC鋼棒内の応力が降伏応力を超えないこと。

これらの検討項目を基本とし、総合的な判断のもとに最適な条件を選択する。

3-4 検討結果

表-3 検討結果

表-3 検討結果				要求品質 ----- ケース	検討項目①	検討項目②	検討項目③	検討項目④	検討項目⑤			施工性を含む 総合評価
鋼棒 ヤング率 tf/m ²	ゴム 断面積 m ²	鋼棒 断面積 m ²	ゴム 厚さ mm		PS導入後 ひずみ ※2.0×10 ⁻³ 以上	PS導入後 鋼棒応力 ※PC鋼棒 降伏応力の 60%程度(57 00kgf/cm ²) kgf/cm ²	推進力 18500tf 載荷時の 鋼棒応力 kgf/cm ²	最大地震時 ゴム応力 ※圧縮応力の 保持 kgf/cm ²	地震時の鋼棒の降伏強度比、のび 降伏強度比 σ _{pc} /9500 の ひずみ×100 % kgf/cm ² %			
					降伏 強度比	鋼棒応力	のび	%				
2×10 ⁷	13.528 (A _S /2)	9.892×10 ⁻² (φ32×123)	26	①	4.023×10 ⁻³	2367	1665	15.90	0.318	3024	0.151	×
			39	②	6.019×10 ⁻³	2367	1665	16.37	0.318	3025	0.151	△
		5.469×10 ⁻² (φ32×68)	26	③	4.023×10 ⁻³	4281	3567	15.90	0.520	4941	0.247	×
			39	④	6.019×10 ⁻³	4281	3567	16.37	0.520	4941	0.247	△
	6.764 (A _S /4)	9.892×10 ⁻² (φ32×123)	26	⑤	4.009×10 ⁻³	1183	709	15.89	0.194	1841	0.092	×
			39	⑥	6.004×10 ⁻³	1183	709	16.36	0.194	1841	0.092	×
		5.469×10 ⁻² (φ32×68)	26	⑦	4.009×10 ⁻³	2141	1662	15.89	0.295	2801	0.140	×
			39	⑧	6.004×10 ⁻³	2141	1662	16.36	0.295	2802	0.140	△
		2.825×10 ⁻² (φ23×68)	26	⑨	4.012×10 ⁻³	4144	3661	15.88	0.506	4806	0.240	×
			39	⑩	6.013×10 ⁻³	4144	3661	16.35	0.506	4806	0.240	◎
		2.389×10 ⁻² (φ26×45)	26	⑪	4.012×10 ⁻³	4901	4418	15.88	0.586	5563	0.278	×
			39	⑫	6.013×10 ⁻³	4901	4418	16.35	0.586	5563	0.278	◎

表-3に検討結果を示す。全12ケースの特性を有するシールドトンネルの計算結果は、要求条件を概ね満足している。さらに計算結果より以下のことが考察される。ゴムの断面積がA_s/2の場合(ケース①～④)におけるシールド掘進時のPC鋼棒内の応力減少量と比してA_s/4の場合(ケース⑤～⑫)の減少量は少なく、セグメントの面接触面積が大きい方が圧縮ひずみに対して有効であることが確認できる。また、ケース①～④、ケース⑤～⑧より、ゴムの断面積が小さくなると、プレストレス導入が容易になり、同じPC鋼棒本数では結果的に不経済に使用されていることなる。最後に、地震時のゴム内部応力をプレストレス導入時のゴム内部応力17.31kgf/cm²と対比すると、ゴムは厚い方が応力の減少量を小さくすることが分かる。

4. まとめ

ゴムの形状とPC鋼棒の断面積の関係は、今回の試算においてある程度把握することができた。そして今回のケースでは上記した計算結果の考察を踏まえた結果、耐震性能が効果的に機能するシールドトンネルとして、ケース⑩および⑫が挙げられる。

5. あとがき

本報においては、各種のパラメータをある程度固定して試算を行ったが、今後は各パラメータを体系的に処理できるような計算法を確立し、そして要求条件をさらに詳細に検討する必要がある。

なお本研究は建設省総合プロジェクト「地下空間の建設技術の開発(地下構造物の耐震設計技術の開発)に関する共同研究」の一環として実施しているものである。

参考文献 脇田、松原、新井：シールドトンネルの耐震性能に関するプレストレス導入効果

(その3)、(その4) 土木学会第44回年次学術講演会第I部門 P1094-1097 1989年10月