

SFRC を用いた ECL 工法の覆工体設計方法に関する研究 (その 2)

繊維補強コンクリート覆工体の遠心模型実験

清水建設 正会員 杉山博一, 後藤 茂, 林 秀彦
 同上 正会員 川口博行, 渡辺真帆, 阿曾利光

1. まえがき

前報¹⁾では高流動コンクリートを打設したECLトンネル周辺地盤の応力状態の変化について検討し,その結果,トンネル周辺の地盤の応力はバルーン内の液体の圧力に近い値になることを報告した.この結果を受けた次の段階として,高流動コンクリートが硬化した後の覆工体の応力メカニズムを検討することが覆工体を設計する上で重要となってくる.そこで遠心模型実験手法を用いてコンクリート製トンネル模型の応力メカニズムを検討することとした.しかし,前報で報告したような応力状態を再現して遠心模型実験を行うことが困難であるため,今回は通常設計で用いられるような自然地盤状態の土かぶり分の土・水圧を作用させて実験を行った.

2. 実験の概要

(1)トンネル模型 トンネル模型は鉄筋や繊維などの補強材を入れない無補強コンクリートと,長さ6mmのポリプロピレン繊維(バルチップ)を体積比で1%混入した繊維補強コンクリートの2種類のコンクリートを用いて作製した.コンクリートの配合および強度試験結果を表-1に示す.セメント粉体には砂利等がブレミックスされたタイプのもので,練り混ぜると自己充填性の高い高流動コンクリートとなる市販のセメントを用いた.表-2にトンネル模型の諸元を示す.実験中のトンネル模型に発生するひずみが測定できるように,トンネル内外面の計10カ所の位置にひずみゲージを貼付した.なお,ひずみゲージのゲージ長は5mmのものを使用した.

(2)模型地盤 模型地盤は8号珪砂を用いて,地盤の密度が均一になるように空中落下法により作成した.8号珪砂の諸物性,および模型地盤の諸元を表-3に示す.

(3)実験用土槽 図-1に遠心载荷装置に搭載する実験用土槽およびトンネル模型の配置図を示す.図-2はトンネル模型を土槽内に設置した状況の写真である.トンネル模型は構造体部分と蓋部分をつきあわせるだけの単純な構造にしてあり,実験中のトンネル模型(構造体部分)の変形が拘束されないようにしてある.なお,構造体部分と蓋部分の密着部外周には砂や水が浸入しないようにビニルテープが巻いてある.

表-1. コンクリートの配合および強度試験結果

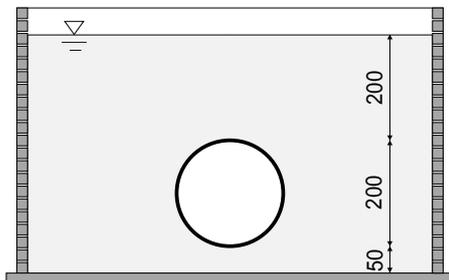
		無補強 コンクリート	繊維補強 コンクリート
基本配合	水 (kg)	4.1	4.3
	粉体 (kg)	15	15
	練上がり量 (l)	9.0	9.2
1リットル あたりの 配合	水 (kg)	0.456	0.467
	粉体 (kg)	1.667	1.600
	繊維 (kg)	-	0.0091
圧縮強度 (MPa)		99.2	87.7
弾性係数 (MPa)		2.1×10^4	1.9×10^4
引張強度 (MPa)		3.91	3.81

表-2. トンネル模型の諸元

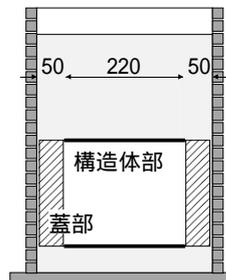
	模型	相似則 (50G場)
覆工外径 (m)	0.200	10.0
覆工厚さ (m)	0.010	0.5
断面2次 モメント (m^4/m)	8.3×10^{-8}	1.0×10^{-2}

表-3. 8号珪砂の諸物性および模型地盤の諸元

土質試験結果		
土粒子密度	(g/cm^3)	2.657
最大密度	(g/cm^3)	1.56
最小密度	(g/cm^3)	1.15
有効せん断抵抗角 ϕ'	(deg)	40.0
砂まき(空中落下)後		
乾燥密度	(g/cm^3)	1.31
間隙比		1.03
相対密度	(%)	47



【正面図】



【側面図】

図-1. 実験用土槽およびトンネル模型の配置図

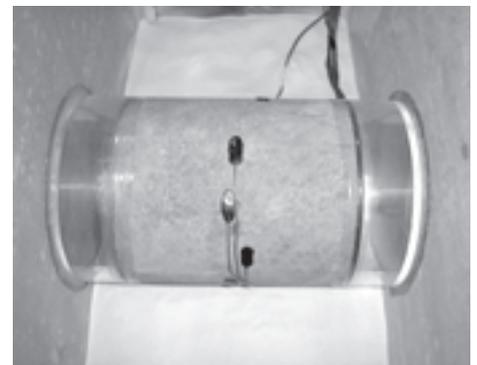


図-2. トンネル模型

キーワード : ECL, 繊維補強コンクリート, 遠心模型実験, 覆工応力

連絡先 : 〒135-8530 江東区越中島3-4-17 清水建設(株)技術研究所 / Tel:03-3820-5269 / Fax:03-3820-5959

(4)実験条件 表-4に実験条件を示す。実験は無補強コンクリート覆工体で乾燥砂の場合(Ud)と湿潤砂の場合(Us)の2ケース、繊維補強コンクリート覆工体では湿潤砂のみ(Fs)の1ケースで、合計3ケースの実験を行った。

3. 実験結果および考察

図-3はUdのケースで遠心加速度を上昇させて载荷しているときのトンネルのひずみ、および遠心加速度の経時変化を示したものである。この図から分かるように、このケースでは遠心加速度が約100m/s²(10G)に達した時点でインバート付近で発生したクラックによりひずみが瞬間的に解放されており、つづいてスプリングライン付近、天端付近の順にクラックが入ってひずみが解放されていることが分かる。また、クラックが入った後にさらに载荷を続けても、インバート外側以外の位置ではひずみはほとんど伸びていないが、インバート外側ではひずみが増大しており、応力が集中している様子が分かる。

一方、地下水を想定したUsのケースや図-4に示すFsのケースでは、遠心加速度が約500m/s²(50G)に達するまでひずみが瞬間的に解放されるような挙動は示さなかった。地下水を想定しなかったUdのケースと比較すると、水圧により圧縮の軸力が増えたためにクラックを発生するような引張破壊は起こらなかったのではないかと考えられる。

図-5はUs, Fsの実験で遠心加速度が500m/s²(50G)に達して安定した時のひずみを比較したものである。図をみて分かるように、繊維補強コンクリートの方が若干ではあるが大きめのひずみが発生していた。両模型を比較した場合、繊維補強コンクリートの方が若干強度や剛性が低いことを考えれば妥当な結果であると言える。しかし、スプリングライン(天端からの角度が90°)ではトンネルの左右2点で計測しており、理論的にはこの2点では同程度のひずみを生じることになるが、図を見て分かるように比較的大きな誤差が生じていることも考慮しなければならない。また、供試体間の誤差と考えた場合、なんらかの理由で繊維補強コンクリート覆工に大きな引張ひずみが生じた可能性もある。この結果の違いについては今後検討していく予定である。

4. まとめ

無補強のコンクリートで作製したトンネル模型およびポリプロピレン繊維を混入した繊維補強コンクリートで作製したトンネル模型を用いて遠心模型実験を行い、トンネル模型に生じるひずみを計測した。無補強トンネル模型で乾燥砂の条件で行ったUdのケースでは、トンネル模型にクラックが入った瞬間に周辺のひずみが瞬間的に解放される様子を観察することができた。一方、湿潤砂の条件で行ったUsおよびFsのケースでは、供試体にクラックが入ることはなかったが、生じたひずみの大きさに差があった。この誤差について今後明らかにし、さらにコンクリート製トンネル模型による覆工応力メカニズムを検討する予定である。

参考文献

1)後藤他, SFRCを用いたECL工法の覆工体設計方法に関する研究(その1)せん断剛性を持たない構造体による土圧再配分実験, 土木学会全国大会第55回年次学術講演会, 2000年9月

表-4. 実験条件

覆工コンクリート種類	実験名	土かぶり		天端から水面までの高さ	
		模型	相似則(50g)	模型	相似則(50g)
無補強コンクリート	Ud	20cm	10m	-	-
	Us				
繊維補強コンクリート	Fs			20cm	10m

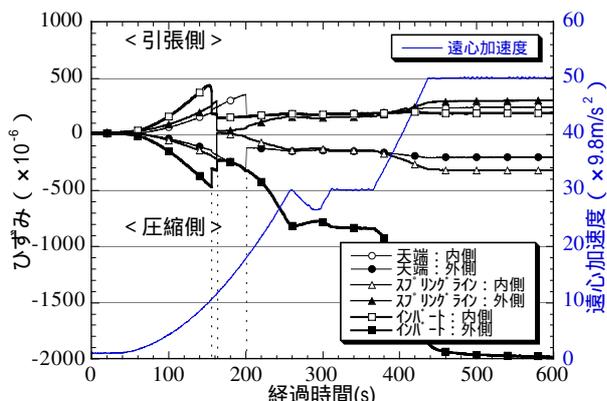


図-3. ひずみおよび遠心加速度の経時変化(ケース: Ud)

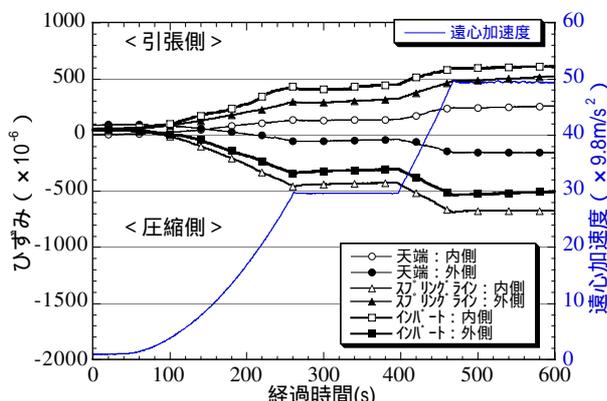


図-4. ひずみおよび遠心加速度の経時変化(ケース: Fs)

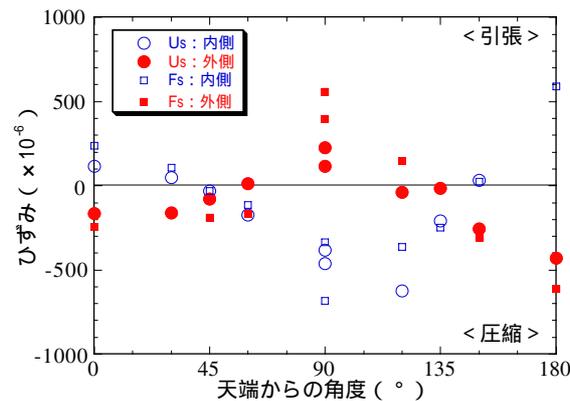


図-5. UsとFsのケースにおけるひずみの比較