

SFRC を用いた ECL 工法の覆工体設計方法に関する研究(その 4)

圧力制御式トンネル模型によるコンクリート圧力制御範囲の検討

清水建設 正会員 杉山 博一、後藤 茂
 東京都立大学 正会員 西村 和夫

1. はじめに

筆者らは高流動鋼繊維補強コンクリート（以後、高流動 SFRC）を用いた ECL 工法の覆工体設計方法に関する研究を行っており、前報^{1) 2) 3)}では水を封入したラバールーン（以後、バルーン）を模型地盤中に埋設したときの周辺地盤の土圧の再配分メカニズムを検討し、その再配分された土圧を考慮した設計手法を提案してきた。本報では設計、施工面で重要になる高流動 SFRC が地山を支持する圧力に着目し、圧力を制御することのできるトンネル模型を用いた遠心模型実験を行い、地盤が安定しうる圧力の範囲について検討した。

2. 実験装置・方法

図-1 はトンネル模型(バルーン)と土槽が一体となった実験装置の概要図である。土槽の内寸は横 600mm、高さ 495mm、奥行き 250mm であり、土槽の中央には脱気水を無負荷の状態 で 充満させたときの直径が 108mm となるバルーンが設置されている。なお、バルーンの奥行きは 200mm である。バルーンはコントロールシリンダーと直結されており、体積を変化させることによりトンネル半径方向に作用させる圧力を制御できる。実験では所定の遠心加速度を作用させて安定した後、コントロールシリンダーを作動させてバルーン内の体積を増減させ、そのときのバルーン内の水圧、バルーン周辺の土圧、および地表面変位を計測した。

3. 実験条件

実験は遠心加速度、模型地盤の密度、バルーンの埋設深さ等の条件を変えて全部で 4 ケース行った。表-1 は各実験ケースにおける実験条件である。実験用模擬地盤には豊浦標準砂を用い、空中落下法により所定の密度となるように作成した。また、実験時の模型地盤はすべて乾燥状態で行った。なお、CD 三軸試験による豊浦標準砂のせん断抵抗角 ϕ は約 41° であった。

4. 実験結果と考察

(1) バルーン水圧と土圧の関係

図-2 はケース A におけるバルーン圧(中心)と周辺地盤の土圧計測結果の経時変化である。図よりバルーン脇に置いた土圧計(水平方向)はバルーン内の圧力とほぼ同じ値を示しているのに対し、それ以外の箇所ではバルーンから離れるほどその圧力変化の影響を受けにくくなっていることが分かる。この傾向については他のケースでも確認された。

図-3 はケース D におけるバルーン直上で計測した水平土圧(Pe1)とバルーン脇で計測した鉛直土圧(Pe2)の計測結果と、バルーン圧 (Pw1, Pw2)を主応力とみなした場合の平均応力とせん断応力の関係で表したものであり、プロットされている点はいわゆるモール円の頂

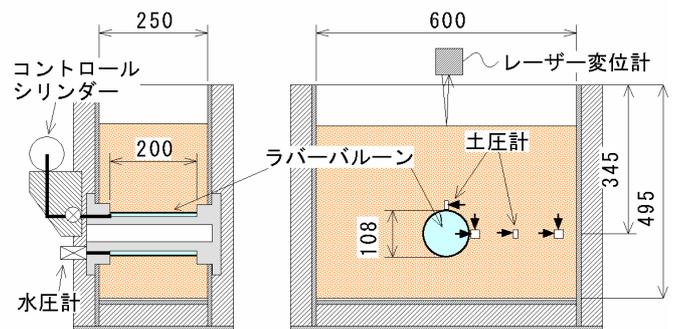


図-1. 遠心載荷用実験土槽の概要図

表-1. 実験条件

実験 ケース名	遠心 加速度 (m/s^2)	模型地盤の 乾燥密度 (g/cm^3)	バルーンの 埋設深さ (cm)	換算寸法(相似則)	
				トンネル径 (m)	土被り (m)
A	30 × 9.8	1.54	20	3.24	6
B		1.45	20	3.24	6
C	50 × 9.8	1.54	20	5.4	10
D		1.53	10	5.4	5

キーワード：シールドトンネル、ECL 工法、土圧、地表面変位、遠心模型実験

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

点の軌跡にあたる。破壊時のモール円の包絡線の傾きである ϕ' と破壊時のモール円の頂点の傾きである β には $\sin \phi' = \tan \beta$ の関係がある⁴⁾ ことから、CD 三軸試験結果より得られている $\phi' = 41^\circ$ を代入すると $\beta = 33.3^\circ$ が得られ、それを図中に点線として示した。この結果より、スプリングライン位置の軌跡は包絡線より内側にあることから要素レベルでの破壊には至っていないが、天端位置ではほぼ包絡線に沿った挙動を示していることから破壊状態であることが分かる。

(2) バルーン圧と地表面変位の関係

図-4、5はそれぞれケース A、B とケース C、D におけるバルーン圧（天端）と地表面変位の関係である。なお、地表面変位については相似則による補正（実験値×遠心加速度）をした値を示した。また図中には実験条件を考慮した Terzaghi のゆるみ土圧（理論上の下限値）の計算値と、この理論を応用した浮上り抵抗圧（理論上の上限値）の計算値を示し、また、実験において地表面が隆起し始めたポイントを印で示した。グラフより、実験初期の載荷・除荷では浮上り抵抗圧よりも大きい値で隆起したが、主働側を含めた載荷・除荷を行った後は地盤全体が大きく乱され、隆起し始める圧力が低下してくることが分かる。

一方、沈下に着目すると、地盤が大きく乱された後は沈下が累積することは分かるが、沈下し始める圧力については明確な傾向は現われていない。

5. まとめ

高流動 SFRC を用いた ECL 工法における地山を支持するための圧力制御範囲を検討するため、圧力制御が可能なバルーンを模型砂地盤に埋設した遠心模型実験を行なった。その結果、地表面隆起については、地盤が大きく乱されない範囲では浮上り抵抗圧よりも大きな圧力で隆起し始めるが、大きく乱された後は土被り圧相当で地表面が隆起し始めることが分かった。今後は地盤の条件、および土被り比の条件を考慮した圧力制御範囲を明らかにしてゆく予定である。

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)、土木学会第55回年次学術講演会、2000 2)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3)、土木学会第56回年次学術講演会、2001 3)杉山他、鋼繊維補強コンクリートを用いた ECL トンネルの覆工体に作用する土圧の評価、土木学会論文集 No.694/ -57、2001.12 4)例えば、山口柏樹、土質力学、技報堂出版

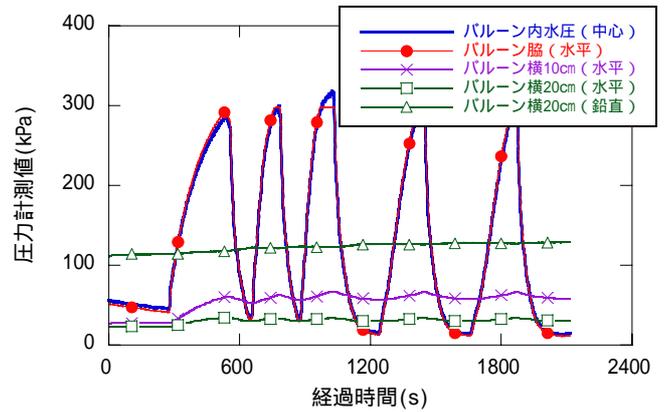


図-2. バルーン水圧と土圧の経時変化（ケース A）

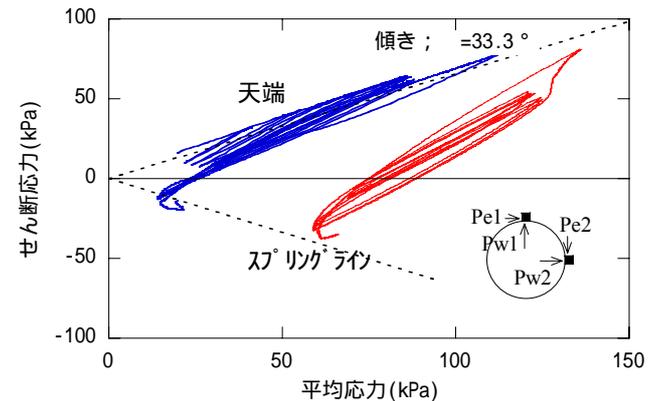


図-3. 天端とスプリングライン位置での平均応力とせん断応力の関係（ケース D）

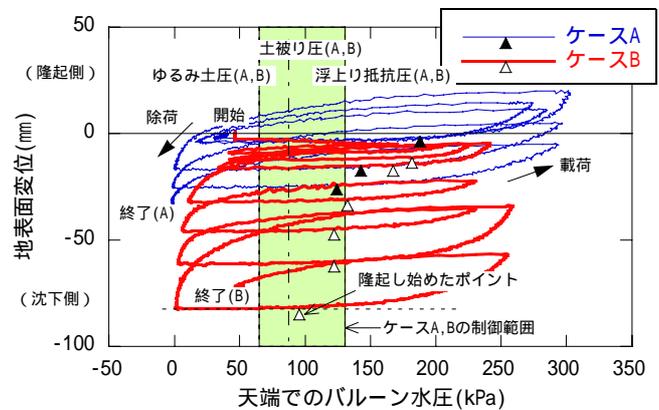


図-4. バルーン圧（天端）と地表面変位の関係および隆起時のポイント（ケース A, B）

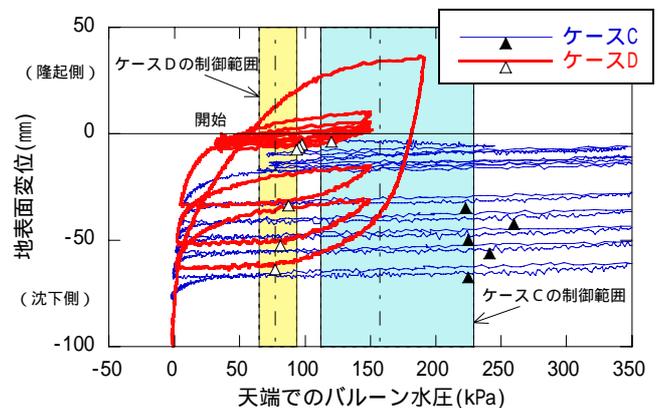


図-5. バルーン圧（天端）と地表面変位の関係および隆起時のポイント（ケース C, D）