

## SFRC を用いた ECL 工法の覆工体設計方法に関する研究（その5）

## ECL トンネル周辺地盤の受働破壊メカニズムの検討

清水建設 正会員 ○杉山 博一

清水建設 正会員 後藤 茂

東京都立大学大学院 正会員 西村 和夫

## 1. はじめに

前報<sup>1)</sup>では ECL トンネルのコンクリート打設時における周辺地盤の受働破壊に着目し、圧力を制御することのできるトンネル模型（ラバーバルーン）を用いた遠心模型実験の結果について報告した。しかし、受働破壊圧力を検討できる破壊モデルについては未検討であった。そこで本報では、ECL トンネル周辺で生じる受働破壊に関する極限つりあいモデルを構築し、実験結果と比較することにより、その妥当性を検討した結果について報告する。

## 2. 実験方法と結果の概要

図-1は ECL トンネルのコンクリート打設直後の状態をモデル化したバルーンを組込んだ遠心载荷用土槽の概要図である。バルーンはコントロールシリンダーを制御することにより体積制御することができ、バルーンを介して地盤に圧力を作用させることができる。なお、バルーンおよびコントロールシリンダーの内部、および、その経路は脱気水で満たされている。模型地盤は豊浦砂を用いて作成した。実験条件等の詳細については前報<sup>1)</sup>を参照されたい。図-2は受働破壊圧のピークが現れるまで载荷した時の遠心模型実験の結果であり、バルーンの半径方向ひずみ（体積変化）とバルーン天端の圧力との関係を示したものである。写真-1は土被り 1D の条件で行った実験後の地盤を観察した状況であり、バルーンを中心として地表面に向かって広がりをもったすべり線が現れていることが分かる。

## 3. 極限つりあいモデルの概要

図-3は写真-1に示した地盤の破壊状況をもとに、すべり線に対数らせんで表現した場合の極限つりあいモデルの概要図である。このモデルでは、まず、トンネル天端から角度 $\theta$ の位置を発進点とするすべり線を想定し、すべり線で囲まれる土塊に作用する力のつりあい式からバルーン圧力を各すべり線ごとに求める。その後、図-3の上半に示すようにすべり線の発進点 $\theta$ ごとに得られたバルーン圧をプロットし、その中から最小となるところを極限状態として求めた。なお、対数らせ

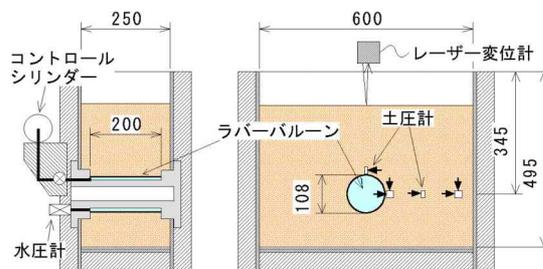


図-1 遠心载荷用土槽の概要図

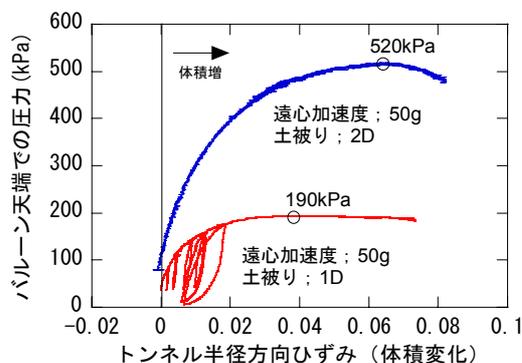


図-2 実験結果（受働破壊時のピーク圧）

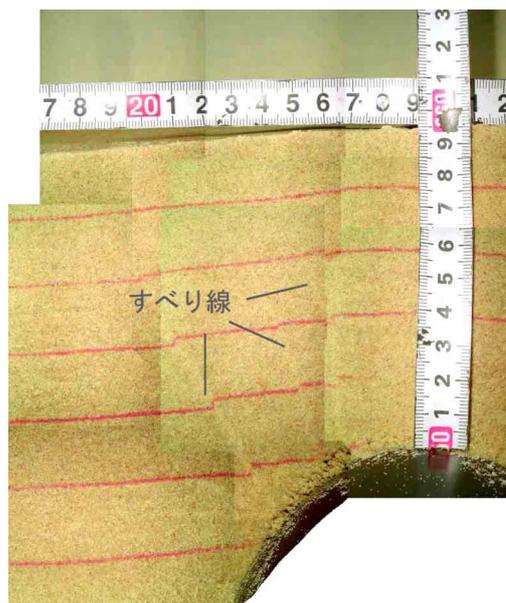


写真-1 実験地盤の破壊状況（土被り；1D）

キーワード ECL, 受働破壊, 極限平衡法, 対数らせん, すべり線

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設(株)技術研究所 TEL 03-3820-5269

んは線  $Od$  の長さを  $\rho_0$  としたとき、次のように表される。

$$\begin{aligned} x &= -\rho_0 e^{(\delta-\alpha)\tan\phi} \sin\delta + x_0 \\ y &= \rho_0 e^{(\delta-\alpha)\tan\phi} \cos\delta + y_0 \end{aligned} \quad (1)$$

また、対数らせんの条件として、すべり線の発進点でのすべり線とトンネル法線とのなす角度、および、地表面とすべり線のなす角度を  $\pi/4 - \phi/2$  と規定した。以下に土塊に作用する力について説明する。

(1) 土塊自重 土塊自重  $W$  は土塊の重心において作用すると考えた。なお、図に示すように線分  $bc$  のところでバルーン部と土塊が重なるが、この部分については土塊とみなした。

(2) すべり線に作用する力 すべり線には内部摩擦角に依存した力としての  $F_1$  と、粘着力に関する抵抗力  $C_1$  が作用する。ただし、摩擦力  $F_1$  は中心  $O_0$  方向に作用する力であるため、回転モーメントには影響しない。また、今回は砂地盤を対象としているため、粘着力に関する抵抗力は無視した。

(3) 側圧に関する力 点  $b$  における側圧  $p_l$  は、バルーン圧  $p_b$  を最大主応力としてモール円が破壊包絡線に接するときの最小主応力と仮定し、さらに側圧  $p_l$  を底辺とし、地表面においてゼロとなる三角形分布の圧力が作用するとした。また、側圧の合力  $P_l$  の作用する位置は底辺から  $D/3$  のところとした。

(4) バルーン圧に関する力 バルーン圧に関する力  $P_b$  はバルーン圧  $p_b$  に線分  $bc$  の長さを乗じたものとし、線分の中心に作用すると考えた。

以上に挙げたすべての力に関する  $O_0$  点回りの回転モーメントのつりあい式より、各すべり線ごとにバルーン圧  $p_b$  を求めることができる。

#### 4. 実験結果と計算結果の比較

図-4 は実験条件を考慮したときのすべり線発進点  $c$  の天端からの角度  $\theta$  とバルーン圧  $p_b$  の関係である。図から分かるように限界バルーン圧（曲線の最小値）は実験値とは若干異なるが、安全側の値を示しており実用上は問題ないと思われる。図-5 は土被りが 2D のときの地盤破壊状況（スケッチ）に極限つりあいモデルから得られたすべり線を重ねて描いたものであるが、図から分かるように、実験結果と概ね一致していた。

#### 5. まとめ

ECL におけるコンクリート打設時の周辺地盤の受働破壊に関する極限つりあいモデルを構築し、遠心模型実験と計算結果を比較してその妥当性を検討した。その結果、今回示した極限つりあいモデルにより受働破壊圧およびすべり線がほぼ表現できることが分かった。

参考文献 1) 杉山他； 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，土木学会 57 回年次学術講演会 III-176, 2002

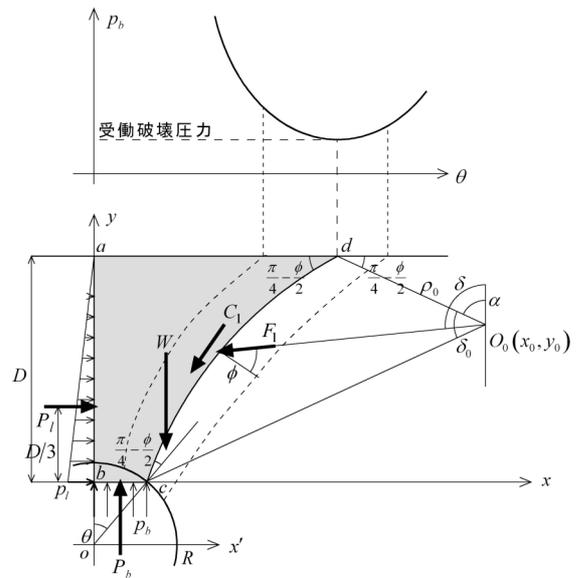


図-3 対数らせんを用いた破壊モデル

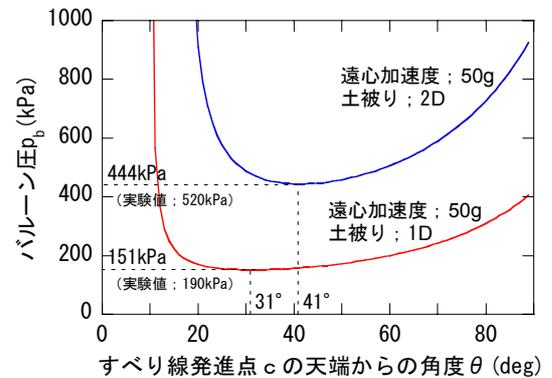


図-4 計算結果

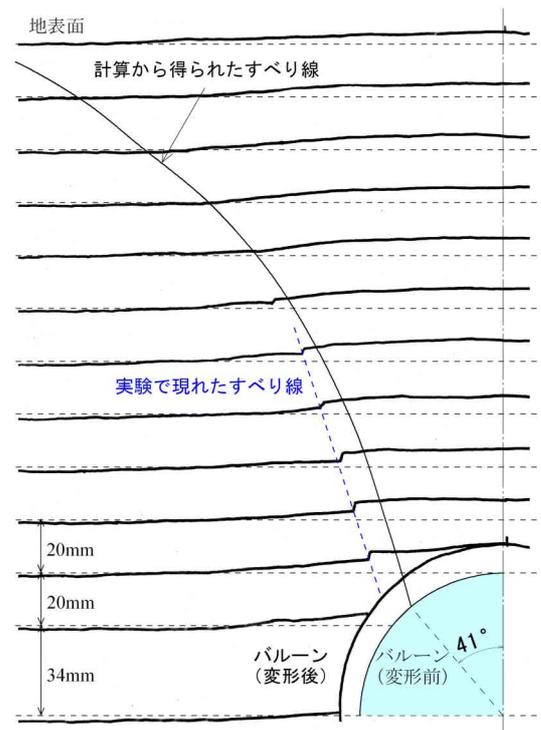


図-5 実験結果と計算結果の比較（土被り 2D）