

Ⅲ-573

トンネルの突発性崩壊に関する研究

建設省道路局

建設省土木研究所

建設省土木研究所

正会員 ○角湯 克典

正会員 猪熊 明

池口 正晃

1. はじめに 道路網の発達と整備に伴い、道路トンネルも急激に増加の傾向を見せているが、その一方、高度成長期時代に建造された多くのトンネルをはじめ、維持対策を要するトンネルの数も同様に増加している。そのようなトンネルのなかで、平成2年2月に国道127号の小山野トンネルにおいて、あまり前例のない大規模な突発性崩壊が発生したという報告がなされている¹⁾。その発生機構はまだ十分解明されていないが、道路

トンネル維持管理便覧(日本道路協会)によると²⁾、地下水の流れに伴う土砂流出などによるトンネルの上部に比較的大きな空隙ができ(図1(a))、空隙の上部の岩塊が何らかの理由で地山と分離し覆工に衝突し(図1(b))、覆工の強度が十分でなければ覆工を破壊しトンネル内空へ落下する(図1(c))というものである。突発性崩壊は、人身事故などの重大な被害を招く恐れがあることより、その発生を未然に防ぐための手段が必要である。本研究では、突発性崩壊の発生要因のうち落下する岩塊の規模、落下高さ、トンネルの覆工厚、崩壊の有無、または崩壊メカニズムの関係について、長さ1/40スケールの衝撃載荷実験装置を用いて調べた。

2. 実験装置および条件 衝撃載荷実験装置の概要を図2に示す。実験土槽は60cm(幅)×50cm(高さ)×20cm(奥行き)の鋼製で、前方の側面にはアクリル板が張っており、板に接している部分、または覆工内側の破壊形状を外から観察することができる。トンネル覆工模型の材料は、水:セメント:砂=1:2:3で配合したモルタル性で、材齢は7日とした。寸法は厚さ7.5, 10.0, 15.0 mmの3種類、トンネル延長20cm、半径は10cmの単芯円である。模擬地山には、直径11mmの鉄球を敷き詰め、その単位体積重量は、 $\gamma=4.65\text{gf/cm}^3$ 、土被りは30cm(1.5D)である。実験は、トンネル背面の岩塊をイメージした重錘(3.04kgfと4.32kgfの2種類)を覆工へめがけて落下させ、覆工の破壊の有無、破壊モードの特徴について記録するものである。

3. 実験結果

3. 1 破壊形態 実験の結果(実験ケースとその結果を表1に示す。)、破壊形態は図3に示すように大きくA, B, Cの3つの

パターンに分類される。Aパターンは破壊せずクラックのみが発生したもの、Bパターンは最も激しい破壊形状を示し、載荷板の径よりも広範囲の覆工天端部が亀の甲状に割れ内空に落下し、陥没部の覆工には、載荷部から放射状のクラックが発生するもの、Cパターンは押し抜き剪断による破壊であり、載荷板底面と接していた部分が円錐台状に抜け落ちるものであり、覆工背面側には載荷板の底面と同じ形状の穴があき、覆工内側には、載荷部からドーナツ状に剥離が生じるものである。A, Bパターンは、曲げ応力に基づく破

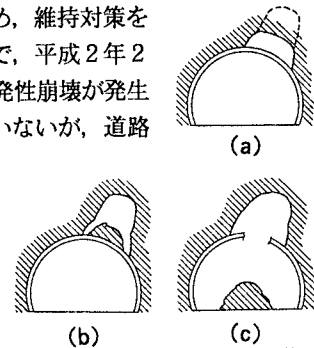
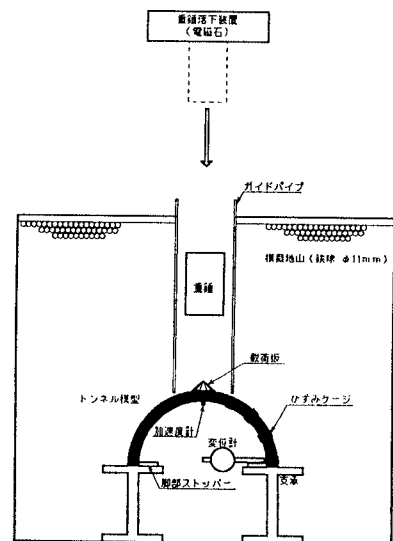
図1 突発性崩壊の例²⁾

図2 模型実験装置

壊, Cパターンは剪断破壊であり, 異なる破壊現象である. Bパターンは覆工厚7.5mmでしかも重錘落下高さが低いとき, Cパターンは落下高が高い実験ケースで発生している. すなわち, 重錘の衝突速度が低いとき曲げ破壊が, 高いとき剪断破壊が起こり, それが破壊モードに影響を与えている.

3. 2 重錘の位置エネルギーと破壊の関係について 図4に, 覆工を破壊するために必要な重錘の最小位置エネルギーを示す(図枠内に実験条件を記載). それによると, 破壊に要する位置エネルギーは覆工が厚くなるほど大きくなる. また今回の実験においては, 重錘重量, 載荷板幅の大小によるエネルギーの相違はとくにみられなかった.

4. 現場スケールの適用性に関する検討 考えられる破壊要因について, 模型実験と破壊現場¹⁾との比較を表2に示した. 表中の*は推定値である. もし表中の π numberである π_1, π_2 が破壊現象に支配的であるとすると(π_1 はエネルギーに関係する無次元量, π_2 は形状に関係する無次元量), 模型スケールの π_1 と π_2 から現場スケールの岩塊の落下高さを計算することができる. 現場で落下した岩塊を400t(約150m³)として計算すると, 覆工厚30cmで44cmの落下高さが必要とされる. このような手法を現場に適用するためには, どの π numberが現象に支配的であるかを知ることが大切であり, 今後検討されるべき課題であろう.

5. おわりに 今回はとくに, パラメータによって動的な破壊現象がどのように変化するかについて知ることができた. 今後は, 崩壊現象に支配的な π numberについて調べ, 現場への適用について検討したい.

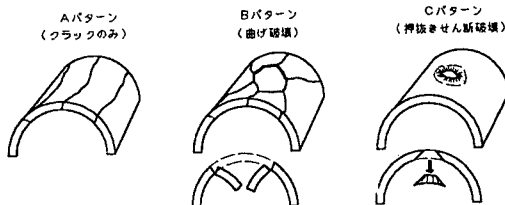


図3 破壊のパターン

表1 実験ケースとその結果

重錘 4.32(kg) 載荷板径 $\phi 30$ mm					
覆工厚 15mm		覆工厚 10mm		覆工厚 7.5mm	
No.	落下高 (cm)	結果	No.	落下高 (cm)	結果
I-1	40	クラック	II-1	30	クラック
I-2	50	クラック	II-2	35	クラック
I-3	60	押抜きせん断	II-3	40	押抜きせん断
I-4	55	クラック	II-4	50	押抜きせん断
		0.92			0.80

重錘 3.04(kg) 載荷板径 $\phi 30$ mm					
覆工厚 10mm		覆工厚 7.5mm		覆工厚 7.5mm	
No.	落下高 (cm)	結果	No.	落下高 (cm)	結果
IV-1	50	クラック	V-1	30	クラック
IV-2	60	クラック	V-2	35	曲げ破壊
IV-3	65	押抜きせん断	V-3	40	押抜きせん断
IV-4	70	押抜きせん断	V-4	50	押抜きせん断
		0.16			0.00

重錘 4.32(kg) 載荷板径 $\phi 50$ mm					
覆工厚 10mm		覆工厚 7.5mm		覆工厚 7.5mm	
No.	落下高 (cm)	結果	No.	落下高 (cm)	結果
VI-1	20	クラック	VI-2	25	クラック
VI-3	30	押抜きせん断	VI-4	40	押抜きせん断
		0.52			0.52

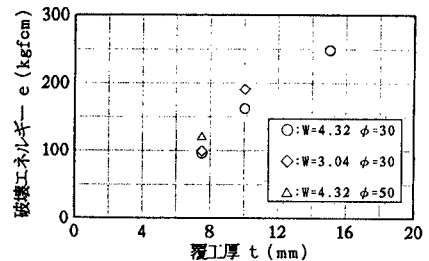


図4 実験ケースと破壊に要する重錘の位置エネルギーとの関係

表2 物性値の比較

	小山野トンネル	模型実験
覆工厚 l (cm)	30	0.75
トンネル径 R (cm)	800	20
コンクリート圧縮強度 σ (kgf/cm ²)	210 *	270
コンクリートヤング率 E (kgf/cm ²)	2.0 $\times 10^4$ *	1.5 $\times 10^4$
岩塊落下高さ H (cm)	不明	30
岩塊重量 W (kgf)	400,000	4.32
岩塊径 ϕ (cm)	550	5
岩塊ヤング率 E (kgf/cm ²)	0.7 $\times 10^4$ *	2.1 $\times 10^4$
初期地山圧 q_0 (kgf/cm ²)	1.0 *	0.14
地盤反力係数 k (kgf/cm ²)	6,500 *	2.3
π_1 $WH/\sigma \phi l^2$	-----	0.171
π_2 R/l	26.67	26.67
π_3 H/l	-----	40
π_4 ϕ/l	18.3	6.67
π_5 E_0/σ	952.4 *	555.6
π_6 E_0/E	0.35 *	14
π_7 q_0/σ	4.8 $\times 10^{-3}$ *	5.2 $\times 10^{-4}$
π_8 $k/\sigma t$	1.032 *	0.011

参考文献

- 1) 猪熊 明; 道路トンネルの緊急点検と今後の維持管理, トンネルと地下, 1990
- 2) (社)日本道路協会; 道路トンネル維持管理便覧, 1985