

トンネル覆工を想定した無筋コンクリート曲げ疲労試験

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○齋藤 貴 小島芳之 野城一栄*)
 西日本旅客鉄道株式会社 正会員 村田一郎 木村元哉
 (財)建材試験センター 正会員 高橋大祐

1. はじめに

トンネル構造の構造体としての優位性は、これまでの実績から十分に保証されており、通常、山岳トンネル覆工には、無筋コンクリート覆工が採用されている。無筋コンクリート覆工を長期間にわたり使用して行く場合、特にひび割れが生じた無筋コンクリート覆工に対し、これまで高速列車走行による空気圧変動や列車振動による疲労の影響について研究された事例はほとんどない。本研究では、無筋コンクリート曲げ疲労試験により、無筋コンクリート性状の把握、疲労への影響等について確認を行うことを目的とする。

2. 無筋コンクリート曲げ疲労試験

(1) 試験体形状

試験体寸法は、幅 20 × 高さ 20 × 長さ 70cm とし、ひび割れ無し及び試験体中央載荷面下側にひび割れを模擬した厚さ 0.2mm テフロン版を挿入し、ひび割れ深さを 1cm、5cm と変えた計 3 種類の試験体 ($\sigma_{ck} = 18\text{N/mm}^2$) を作製した(図 - 1)。

(2) 試験方法及び測定項目

試験体を水平に設置し、片側ピン、片側ローラー支持によるスパン 60cm の中央 2 点載荷 (20cm) とし、静的及び繰返し載荷の 2 種類の試験を行った。測定項目は、載荷荷重、載荷点直下及び支点変位、試験体両側面 (ひび割れ有りの場合は、ひび割れ上部) 及び載荷面下側に貼付したひずみゲージによるコンクリート表面のひずみ、繰返し回数とした。最初に静的曲げ載荷試験を行い、ひび割れの有無による最大荷重 (P_{max})、破壊状況等の無筋コンクリートの性状の確認を行った。その結果を踏まえ、疲労試験の載荷荷重 (上限荷重) を決定し、曲げ疲労試験を行った。曲げ疲労試験での載荷振動数は 5Hz とし、上限荷重は、 $\alpha \times P_{max}$ ($\alpha = 0.5 \sim 0.9$)、下限荷重 3.2kN とした。

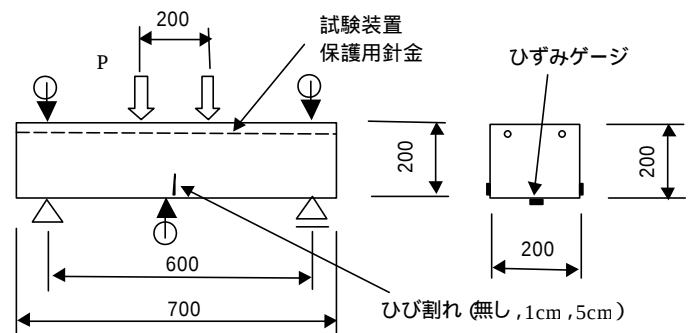


図 - 1 試験体形状及び載荷状態図

表 - 1 試験ケース

試験ケース		ひび割れ		載荷方法	載荷速度	備考
		無	有			
			1cm 5cm			
静的載荷	1			単調	毎分 0.8 ~ 1.0N/mm ²	× 3 ○ × 5 計 13 体
	2		○			
	3					
繰返し載荷	1	□		繰返し	5Hz	□ × 15 計 45 体
	2		□			
	3					

その結果を踏まえ、疲労試験の載荷荷重 (上限荷重) を決定し、曲げ疲労試験を行った。曲げ疲労試験での載荷振動数は 5Hz とし、上限荷重は、 $\alpha \times P_{max}$ ($\alpha = 0.5 \sim 0.9$)、下限荷重 3.2kN とした。

(3) 試験結果

静的曲げ載荷試験、曲げ疲労試験結果をまとめると以下のようになる。なお、両試験とも全試験体が等曲げ区間で破壊した。

a. 静的曲げ載荷試験

- 1) 全試験体が、最大荷重 (ひび割れ発生) に達すると同時に荷重を維持できずに、ひび割れが進展し破壊に至った。

表 - 2 ひび割れ発生荷重の比較

ひび割れ	P_{max} 平均値 (kN)	実験値 / 計算値
無し	37.5	1.03
1cm	28.5	0.87
5cm	20.4	1.00

キーワード：無筋コンクリート、曲げ疲労試験

連絡先：) 〒163-0730 東京都国分寺市光町 2-8-3 042-573-7266 Fax042-573-7248
) 〒530-8341 大阪市北区芝田 2-4-24 06-375-6158 Fax06-375-8915
) 〒340-0003 埼玉県草加市稲荷 5-21-20 0489-35-9000 Fax0489-31-9137

- 2) ひび割れ無しの試験体に比べ、ひび割れ深さが 1cm、5cm と深くなるにしたがい最大荷重が小さくなった。
- 3) ひび割れ発生荷重は、実験値と計算値¹⁾が比較的良く近似した(表 - 2)。

b. 曲げ疲労試験

- 1) 繰返し回数の増加に伴い、ひずみが増加する。
- 2) 破壊した試験体は、ある繰返し回数に達すると同時に、荷重を維持できずに、急激にひび割れが進展し破壊に至った。
- 3) 繰返し回数の増加に伴い、ひび割れ先端部での曲げ応力度が減少する疲労の影響が確認された。

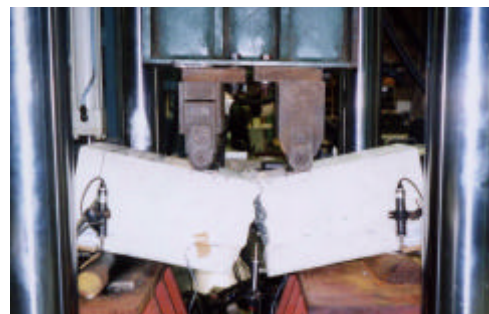


写真 - 1 試験体破壊状況

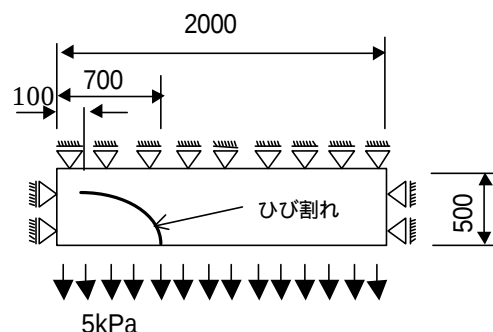


図 - 2 ひび割れ残存長さモデル

3. ひび割れ残存長さと荷重レベルの検討

FEM 解析により、ひび割れ 5cm の試験体モデルに単位荷重を作用させた時のひび割れ先端部での応力及び新幹線トンネル内の空気圧変動測定結果(±5kPa)を図 - 2 に示すひび割れ残存長さモデル(半断面)に作用させた時のひび割れ先端部での応力を求め、それらより曲げ疲労試験体での等価な載荷荷重を求めた。

曲げ疲労試験結果からの S_b (ひび割れ先端部の曲げ応力度) - N (繰返し回数) 線図及び FEM による解析値を図 - 3 に示す。

4. 結論

今回実施した無筋コンクリート曲げ疲労試験結果及び FEM 解析結果より、以下のことがわかった。

- (1) ひび割れのない健全なトンネル覆工では、耐用期間 100 年以上を想定しても高速列車走行に伴う空気圧変動による疲労の影響は考えられない(図 - 3:)。

- (2) トンネル覆工に多少のひび割れが生じていても、覆工の一体化した部分が広い場合には、空気圧変動に伴う疲労の影響は考えられず、空気圧変動による疲労の影響が生じるのは、ひび割れが広範囲に広がり、覆工の一体化した部分が非常に狭い場合に限られる。

実際の無筋コンクリート覆工は、地山に囲まれたアーチ構造であり、一般的には、ひび割れが生じても軸力により、十分安定した構造が維持されることは、過去の実績、模型実験、数値解析等^{2), 3)}において確認されている。空気圧変動による疲労の影響は、ひび割れが相当進展した状態で影響を生じるため、覆工表面に生じたひび割れ等を目視検査により定期的に観察し、3 次元的に囲まれる恐れのあるものについては、さらに打音検査等による内部検査を実施することにより供用上十分に安全である。

参考文献】

- 1) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 日本建築学会
- 2) トンネル覆工の力学的挙動に関する基礎的研究, 朝倉ら, 土木学会論文集, 1994.6
- 3) コンクリート覆工の強度, 今田徹, トンネルと地下, 1977.9

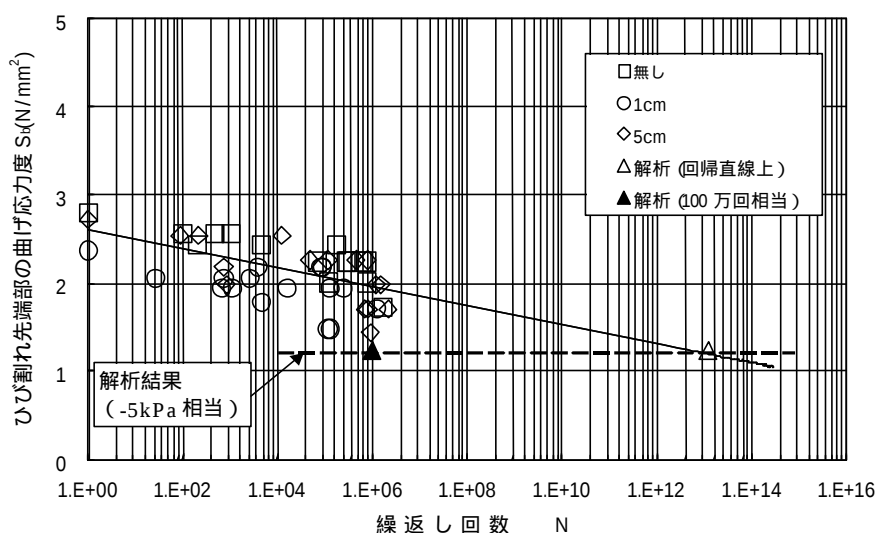


図 - 3 S_b (ひび割れ先端部の曲げ応力度) - N (繰返し回数) 線図