

早強性レジンモルタルトンネルの打継目強度特性

ADHESION STRENGTH PROPERTY OF TUNNEL JOINTS WITH
QUICK HARDENING RESIN MORTAR

中山 知明*・高塚外志夫**

By Tomoaki NAKAYAMA and Toshio TAKATSUKA

This paper describes the adhesion strength of the tunnel joints with the quick hardening resin mortar developed for a new small diameter automatic tunneling method. The authors examined the bending strength of small model tunnels and specimens sampled from a real tunnel constructed by the new tunneling method. The results obtained are summarized as follows:

(1) The bending test of the model tunnel shows that the adhesion strength of the tunnel joints with scarfed shape is almost equal to or more than the resin mortar strength.

(2) The fracture mechanism of the tunnel joints is divided into three types, and the bending strength distribution of the joints is also divided into three regions because of the fracture mechanism.

(3) The adhesion strength of the tunnel joints are mainly affected by hardener ratio of the resin mortar.

1. ま え が き

日本電信電話公社では、通信ケーブル用トンネルを築造する小断面シールド工法(内径1.2m)の実用化を進めている¹⁾。本工法の最大の特徴は、早強性レジンモルタルを現場打設することによって、坑内作業の無人化、トンネルの長距離・曲線施工を可能とする自動ライニングシステムを採用していることにある。本工法実現のためには、ひびわれの発生がなく、早期に高い強度が得られる低収縮早強性レジンモルタルを開発する必要があった。

また、本工法では、長さ50cmごとにレジンモルタルを打ち継いで無筋構造体のトンネルを築造するため、トンネル構造体としての強度を得るには、高い接着強度を有する打継目構造を実現する必要がある。

レジンモルタルの接着強度については、岡田らが直方体の供試体による曲げ強度試験を行い、打継目構造について検討しているが²⁾、トンネルのような構造体としての研究例はほとんど見当たらない。本研究では、実際の応力状態に近づけるため、モデルトンネルによる曲げ試

Table 1 Resin mortar material content.

		Material	Weight Ratio
Resin		Unsaturated Polyester Resin	20 %
Aggregate		Silica Sand (0.05~5 mm)	56 %
		Calcium Carbonate Powder	24 %
Catalyst	Hardener	Methyl Ethyl Ketone Peroxide (MEKPO)	3.0 phr
	Promoter	Cobalt Octoate	1.5 phr
	Co-Promoter	N,N-dimethyl aniline (DMA)	0.1~0.5 phr
	Inhibitor	P-t-butyl catechol	0.02~0.05 phr
	Anti-segregating agent	Fine powder of silica	0.5 phr

phr : per hundred resin

験を実施し、構造体としてのトンネル打継目強度特性について論じている。また、実際に地下で築造したトンネルから採取した供試体により、打継目強度の分布特性を評価するとともに、実用上十分に高い接着強度が得られることを明らかにした。

2. モデルトンネルの曲げ試験

本工法のために開発した早強性レジンモルタルの配合

* 正会員 日本電信電話公社茨城電気通信研究所通信土木研究室研究主任(〒319-11 茨城県那珂郡東海村)

** 正会員 工修 研究専門調査員

は Table 1 に示すとおりである。このレジンモルタルは Fig. 1 のように高い早期強度を有している。また、レジンモルタルは、被接着面に残存する未反応不飽和基と化学結合することにより接着するため、本来接着性に優れた材料である。この点は、一般のコンクリートの打継目では主に、旧打継目の骨材と新たに打設されたセメントが接着することによって強度が発現するのとは異なっており、さらに、この早強性レジンモルタルでは、骨材の表面処理を施し、骨材と樹脂の接着性を向上させているために³⁾、被接着面の処理を行わなくとも、原理的には母材部と同程度の強度が期待できる。打継目の強度は母材部の強度に比べ、曲げ強度で 95 %²⁾、引張強度で 90 %³⁾ であるとの、供試体による実験結果もある。一般のコンクリートの打継目強度の母材強度に対する比は、打継目の表面処理を施しても、鉛直打継目では、曲げ強度で 45~80 %、引張強度で 35~80 % であり、これに比べて、レジンモルタルの打継目強度は大きいといえる。

そこで、トンネルの構造体としての打継目強度特性について検討するため、Fig. 2 に示す縮尺 1/5 モデルによるトンネルの曲げ試験を実施した。

打継目の形状は突付け型 (A) とそぎ継ぎ型 (B) の 2 種類とした。モデルトンネルの作製は、円筒形の内、外型枠および、所定の形状の妻型枠を用いて行った。打継ぎ間隔は 2 時間、打継ぎ後試験までの養生時間は 7 日間とした。試験状況を Photo 1 に、モデルトンネルの曲げ強度を Table 2 に示す。曲げ強度は載荷重と自重によるモーメントからはり理論により算出した値である。この結果、打継目強度は打継目の形状により異なるが、そぎ継ぎ型継目では、長方体の供試体試験と同様に、母材が破壊する場合もある (Photo 2 参照) ことから、母材と同等以上の強度発現が可能であることがわかった。

本試験で得られた強度が、Fig. 1 の曲げ強度に比べて小さいのは、供試体の寸法効果のためと考えられる。

Fig. 3 には、スパン中央断面内 (打継目部) の軸方向

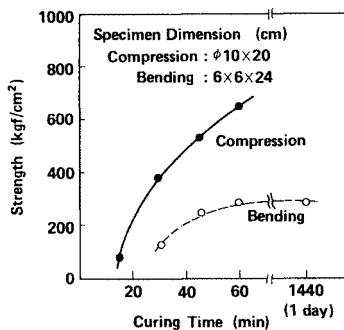


Fig. 1 Early strength development of resin mortar.

ひずみの分布を示す。はりのスパンと高さの比が小さいはりでは、断面内の反応分布が直線分布とならず、せん断の影響によりはり理論に従わないことが知られているが、本図をみると、ひずみは破壊に至るまで直線分布しており、各荷重段階における中立軸の移動も少ないため、本試験でははり理論に従うと考えられる。

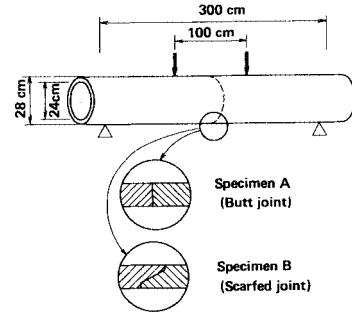


Fig. 2 Bending test of model tunnel.

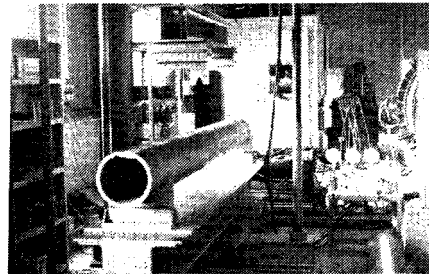


Photo 1 Set up for bending test.

Table 2 Bending strength of model tunnel.

Type of Tunnel Specimen	Bending Strength (kgf/cm ²)	Type of Failure
A (Butt)	1	Failed at the joint
	2	
	3	
B (Scarfed)	1	Failed at the joint
	2	
	3	Failed at the mortar lining
	4	



Photo 2 Tunnel failed at the mortar lining.

Fig. 4 にスパン中央断面インバート部の応力と軸方向ひずみの関係を示す。(a) は供試体番号 B-1 で打継目から破壊した場合、(b) は供試体番号 B-3 で打継目以外の母材から破壊した例である。応力-ひずみ直線は、ほぼ直線で、計算値ともよく一致しており、除荷後の残留ひずみも小さい。特に母材破壊する場合 (b) では、破壊点近くにおけるひずみの増加もなく、典型的なぜい性破壊を生じている。これに対して、打継目から破断する場合 (a) では、1000 μ を越えた時点より、ひずみの増加がみられる。このように、母材破壊する場合と打継目から、破断する場合では、破壊機構が相違するものと考えられる。

Photo 3 に破断面の状況を示す。打継目より破断した場合 (a) では、破断面は滑らかで、樹脂層が表面を覆っており、樹脂部で破壊している。母材が破壊した場合 (b)

では、破断面の凹凸が激しく、骨材が破壊している部分もみられる。

3. 打継目強度の分布特性

小断面シールド工法により、昭和 56 年 9 月から 57 年 7 月にかけて、研究所内の地下に 100 m 余りのレジンモルタルトンネルを築造した。本トンネルの築造条件を Table 3 に示す。

このレジンモルタルトンネルについて、打継目強度の分布特性の評価を試みた。トンネルに作用する軸方向の断面力は地震時の軸力、曲げ、不同沈下時の曲げ等が考えられる。そのため、打継目強度は引張または曲げ強度試験により評価することが妥当である。

本研究では試験方法の難易等を考慮して、曲げ強度による評価を試みた。地下に築造したトンネルより 10 リング (長さ、5 m) を掘り起こし、これから打継目を含む供試体 (寸法、6×6×24 cm) を切り出し、JIS A 1184 による曲げ強度試験を実施した。打継目強度分布を Fig. 5 に示す。

これによれば、打継目強度分布は 3 つの領域に大別される。直線①は母材破壊の領域、直線②は打継目破壊の領域、直線③は打設条件により打継目が弱点となった場合の領域を表わすと考えられる。

領域③の供試体の打設条件をみると、硬化液配合比が通常の 2 倍以上と異常に高いことが挙げられる。硬化液配合比が高いと硬化収縮ひずみが大きくなり、接着面が

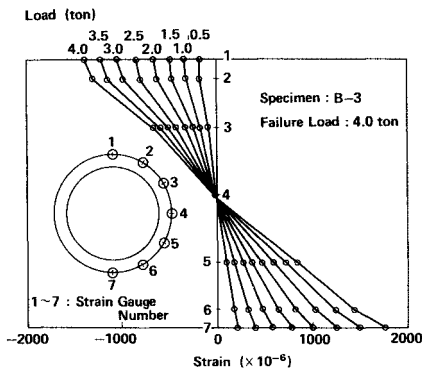
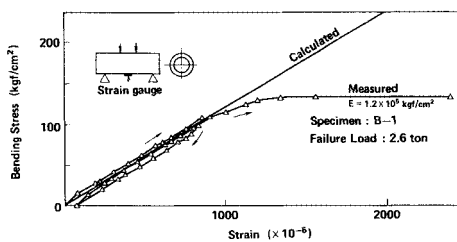
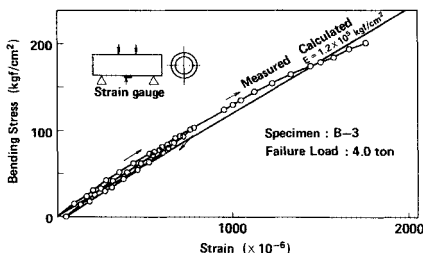


Fig. 3 Strain distribution at the joint section.

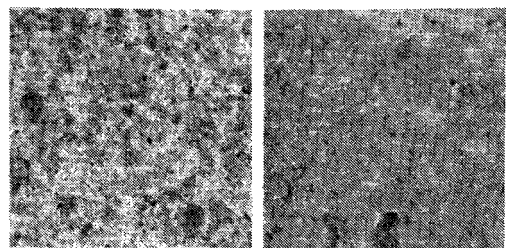


(a) Failed at the joint



(b) Failed at the mortar lining

Fig. 4 Stress-strain curves of model tunnel.



(a) Failed at the joint (b) Failed at the mortar lining

Photo 3 Broken surface of model tunnel.

Table 3 Construction condition of full-scale test tunnel.

Items		Conditions
Tunneled Alignments	Planimetric	Straight and curved (R = 200 m)
	Longitudinal	Up-grade 2.0 % (Mean value)
Soil Conditions	20 m from departure	Sand and gravel
	20 ~ 55 m	Sandy clay
	55 ~ 107 m	Loam
Earth Covering	4 m at departure 2 m at arrival	
Tunneled Length	107 m	

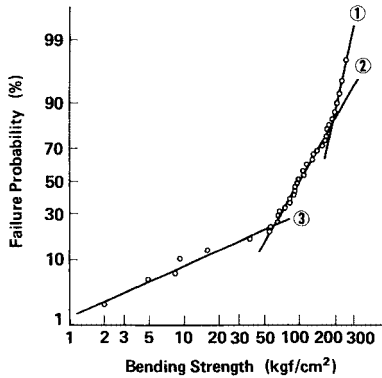


Fig. 5 Distribution of joint strengths.

ひずむため、打継目強度が低下する。

そのため、硬化液配合比の制御をさらに正確に行うことにより、少なくとも、領域③は排除することが可能であると考えられる。

また、領域③を排除すれば、レジンモルタルトンネルは、実用上十分な打継目強度を有するといえる。領域③のデータを除外すると、打継目強度については、下式のような対数正規分布で議論することができる⁵⁾。

$$f(x) = \frac{1}{\xi\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \lambda}{\xi}\right)^2\right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 x ：打継目強度

$f(x)$ ：確率密度関数

λ, ξ ：定数 ($\lambda=4.487, \xi=0.3874$)

平均値 95.4 kgf/cm^2

ここで、コンクリート標準示方書解説（昭和55年度版）11章94条配合強度の考え方に則って、レジンモルタルトンネルの打継目の設計基準強度、 σ_{ck} を求めると、

$$\sigma_{ck} = 58.6 \text{ kgf/cm}^2 \dots\dots\dots (2)$$

が得られる。

4. むすび

本研究では、レジンモルタルトンネルの縮小モデルによる曲げ試験および実物大トンネルより採取した供試体による曲げ強度試験を実施し、打継目の強度特性について検討した。その結果、次のような知見を得た。

(1) モデル試験によれば、そぎ継ぎ型継目では、母材と同等以上の打継目強度が発現し得る。

(2) 母材破壊と打継目破壊では、破壊機構が異なり、これが打継目強度の分布特性に影響を与える。

(3) 実物大トンネルの打継目強度についても、硬化液配合比の制御を正確に行うことにより、実用上十分な強度が得られる。

謝 辞：本研究をまとめるにあたり、数々の有益なご指導を頂いた茨城電気通信研究所 福富秀雄所長、小島伸哉線路研究部長、内田直也部統括調査役ならびに山岸康利通信土木研究室長に厚く感謝する。また、実験にあたり、通信土木研究室 山本氏に多大なご尽力を頂いたことに感謝する。

参 考 文 献

- 1) Tsuruda, H. : Automatic Tunneling System with High-early-strength Resin Mortar, 9th General Assembly of International Tunnelling Association.
- 2) 岡田・東：レジンモルタルの水中接着に及ぼす継手構造の影響，第23回材料研究連合講演会，pp.143～144，Oct. 1979.
- 3) 松浦：早強性レジンモルタルの耐水配合，材料，Vol.23，No.251，pp.660～665，1974.
- 4) 吉田・中嶋：超速硬セメントコンクリートの新旧打継目に関する研究，セメントコンクリート，No.347，pp.9～15，1976.
- 5) Ang, A. H-S. and Tang, W. H. : Probability Concepts in Engineering Planning and Design.

(1984.1.9・受付)