

ロックボルトの付着特性に関する基礎的実験

飛島建設土木本部	正会員○黒坂聡介
日本道路公団試験研究所	正会員 伊藤哲男
日本道路公団試験研究所	正会員 大嶋健二
飛島建設技術研究所	正会員 平間昭信
飛島建設土木本部	正会員 小平哲也

1. はじめに

現在使用されているロックボルトは、定着用モルタルで地山と一体化する方式（全面定着式）が主体となっている。しかし、近年の第二東名・名神高速道路などに代表されるトンネルの大断面化に伴い、ロックボルトが長尺化してきており、定着時の挿入抵抗が大きいなど、現状仕様のロックボルト工における施工性や品質管理上の問題に対して何らかの対応が必要となっている。これらの課題に対する取り組みの一環として、ロックボルト定着材の配合やコンシステンシー及び拘束条件による鋼材との付着特性の違いを把握するため基礎試験を実施した。

2. 実験概要

実験は「引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法(JSCE-G 503-1999)」に基づいて実施した。

定着材は、日本道路公団の標準である早強モルタルおよび普通モルタルと早強タイプに準ずる新たな 2 つの配合を適用し、フローは現行の管理基準である 150mm±20mm と施工性を考慮した目標フロー180mm 及び 210mm とし、合計 10 種類の配合とした。また、拘束条件の違いによる比較のため、適用した定着材の 1 配合 1 材齢(24hr)について鋼管及び鉄筋による拘束を行った試験を実施した。表 1～3 に試験配合、試験項目、使用材料を示し、図 1 に供試体の概要、写真 1 に試験状況を示す。

3. 実験結果

3.1 配合及びコンシステンシーの違いによる付着特性

図 2 及び図 3 に付着強度と圧縮強度の強度発現状況を示す。いずれも無拘束の各配合各材齢での N=3 の平均値を示している。なお、付着強度は、以下より算定した。

$$\tau_{\max} = P_{\max} / (U \cdot L) \quad (\text{式-1})$$

$\tau_{\max}$: 最大付着強度(N/mm²)

$P_{\max}$: 最大引抜き荷重(N)

U : ロックボルト周長(74.8mm)

L : 定着長(140mm)

図中には 3m のロックボルトが理想的に全面定着した場合の、鋼材の破断となるのに必要な付着強度を示している。その値は(式-1)にねじり棒鋼の破断耐力(243.6kN)と定着長 3000mm を代入して算定した

表 1 試験配合

タイプ	配合区分	配合番号	目標フロー	材 齢	拘束条件
早強型	現状早強型 ﾌﾞﾚｯｷｯｽﾞﾓﾙﾀﾙ	①－１	150mm	3材齢 12hr 24hr 72hr	無拘束 (写真－１)
		①－２	180mm		
	ﾌﾞﾚｯｷｯｽﾞﾓﾙﾀﾙ の混合	②－１	150mm		
		②－２	180mm		
	普通ﾌﾞﾚｯｷｯｽﾞ の高性能減 水剤添加	③－１	150mm		
		③－２	180mm		
③－３		210mm			
普通型	現状普通型 ﾌﾞﾚｯｷｯｽﾞﾓﾙﾀﾙ	④－１	150mm	24hr	鋼管(写真-1) 鉄筋(写真-1)
		④－２	180mm		
		④－３	210mm		
		④－２	180mm		
		④－２	180mm		
		④－２	180mm		

表 2 試験項目

試験項目	試験内容
テーブルフロー試験	JIS R 5201に準拠
圧縮強度試験	JIS A 1108に準拠
引抜き試験	JSCE-G 503-1999に準拠 20℃標準気中養生 2000kNの引抜き試験器を使用 引抜載荷速度5kN/min

表 3 使用材料

項目	使用材料	備考
引抜き鋼材	TD24 ツイストボルト	L=1.5m
拘束体	一般構造用炭素鋼管	外径139.8mm, t=4.5mm
	D10異形鉄筋(スパイラル構造)	スパイラル内径100mm

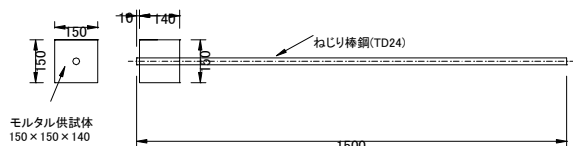


図 1 供試体

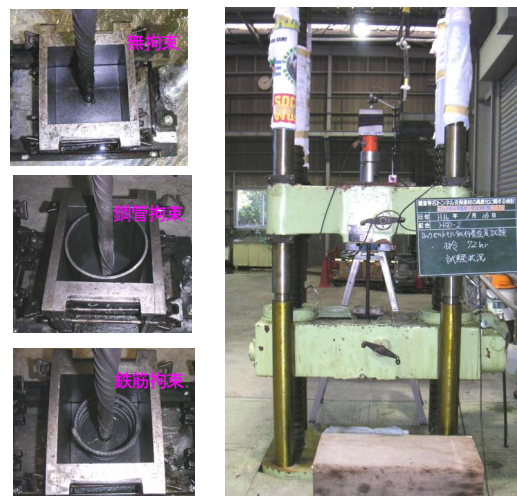


写真 1 試験状況

キーワード：ロックボルト、ねじり棒鋼、定着材、コンシステンシー、引抜き試験、付着強度、拘束条件

〒102-8332 東京都千代田区三番町 2 番地 飛島建設土木本部土木技術部 Tel: 03-5214-7083 Fax: 03-5276-2526

概算値である。試験結果は、配合による差異は見られないものの、破断となる付着強度 1.09N/mm^2 と比べて、材齢 24 時間で、いずれの配合でも 3 倍程度の付着強度を示しており、十分な引抜耐力が得られることが確認できた。また、付着強度は圧縮強度に比べ 24 時間以降の強度の伸びが小さくなる傾向を示していることから、付着強度は基本的には強度依存をするものの、その傾向は 24 時間以前の若材齢で顕著であると考えられる。

3.2 拘束の影響

図-4 は、無拘束の場合と拘束を考慮した場合の荷重-変位の関係を示している。載荷初期は荷重の増加にロックボルトとモルタルが同様に変位しており拘束条件による差は見られない。そして、モルタルの変位増分が小さくなるとロックボルトのみが変位しようとし、モルタルを押し広げようとする力が働く。この時点で、拘束のない場合は容易にモルタルが破壊し荷重はピークとなる。破壊状況は多くの場合 3~4 片に縦に割裂している(写真-2 上左)。拘束がある場合には、モルタルが破壊しないため、荷重の増加に伴いロックボルトの変位も増加し、最終的に 6~7mm の変位でピークとなり引抜荷重は無拘束の場合の 2.5 倍程度を示した。鋼管と鉄筋の拘束条件の違いは特に見られず同様の挙動を示している。供試体は、鉄筋拘束の場合は僅かなクラックが確認されたが、両拘束条件とも破壊には至っていない(写真-2 上右及び下)。

4. まとめ

本試験では耐力 170kN のねじり棒鋼を使用した。室内試験では 24 時間を経過すれば鋼材の破断となるのに十分な (3 倍程度) 付着強度を得ることが確認でき、実際の地山での養生条件による強度のばらつきを考慮しても定着は十分得られると考えられる。

また、付着特性においては拘束の効果が大きく、無拘束下でモルタルが破壊した段階で、拘束下においても付着は切れていると考えられるが、拘束とロックボルト表面の凹凸の作用ですべり抵抗が働き、より大きな引抜耐力が得られていると考えられる。

実際のロックボルト工では挿入孔の周辺地山が拘束体となるが、地山の硬軟や割れ目の状況、また、定着材と地山の付着力など様々な要因が作用するため拘束の効果は想定し難い。しかし、引抜耐力に及ぼす拘束の影響が大きいことが確認されたことから、実際の地山では、周辺の地山状況により引抜耐力に違いが出てくることも確認できたと考えられる。さらに、定着材の充填状況の良否が重要な要素であり、ロックボルト挿入孔に定着材が十分に充填されていることによりロックボルトがより効果的に作用し品質の高いトンネルが施工されることが考えられる。

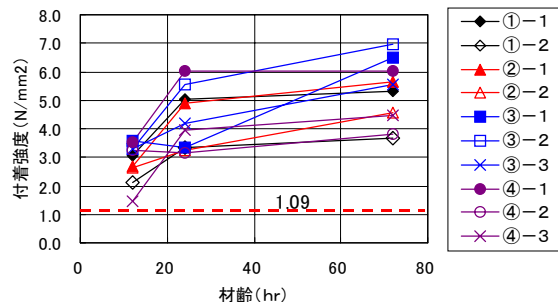


図-2 付着強度の発現状況

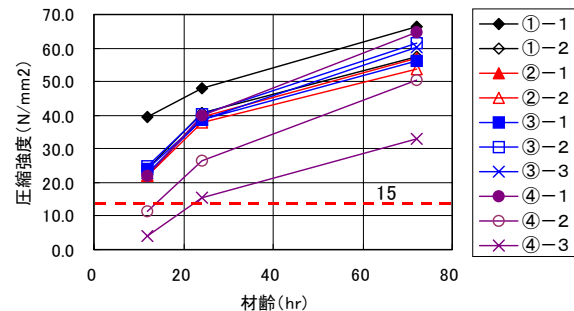


図-3 圧縮強度の発現状況

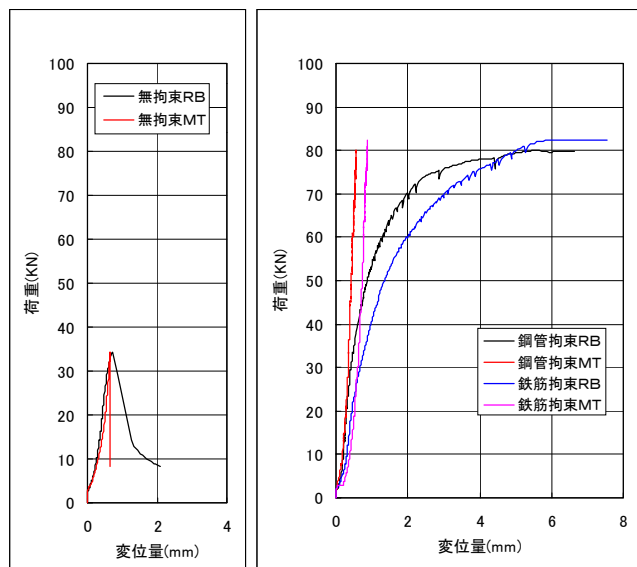


図-4 荷重-変位(拘束条件別)



写真-2 拘束条件別供試体の状況