

論文 樹脂接着併用打ち込みアンカーの引き抜き特性

市原 三馨^{*1}・細田 暁^{*2}・松田 芳範^{*3}・今井 清史^{*4}

要旨：本研究では，トンネル剥落対策用の樹脂接着併用打ち込みアンカーの引き抜き特性を調査した。試験パラメータは，アンカーの埋め込み長・母材（コンクリート）強度・充填樹脂の有無・孔内の水分の有無である。引き抜き耐力に及ぼす埋め込み長・母材（コンクリート）の圧縮強度の影響が明らかとなり，また孔内の水分の影響をほとんど受けないという結果が得られた。これらの結果に基づき，実構造物での施工を対象としたアンカーの許容引抜荷重を定めた。

キーワード：あと施工アンカー，樹脂接着併用，低強度コンクリート，埋め込み長，水分

1. はじめに

トンネル覆工コンクリートの剥落防止対策として，アラミドメッシュ・アクリル樹脂・アンカーを用いたトンネル内面補強工法が開発され，実施されている¹⁾。これは，メッシュ状の繊維シートを透明な樹脂を塗布して接着し，さらにアンカーにより平滑に固定するものである。

アンカーは拡底式で，アンカー用の孔内にアクリル樹脂を充填した直後に，内面壁体に機械的に固定する樹脂接着併用の打ち込みアンカーである。アクリル樹脂の硬化までは機械的な固定により引抜荷重を支え，最終的には樹脂の接着力も合わさって耐荷力を発揮するものである。アンカーには，列車風圧（ 3kN/m^2 ）に耐える引き抜き特性が要求されている。既存のトンネル覆工コンクリートを補強する際には，母材コンクリートの強度や漏水の状況が場所により異なる。しかし，現状では，種々の施工条件に対応してアンカーの使用方法を決定するのに十分なデータが蓄積されていない。

そこで，本研究では，実際のトンネル剥落対策においてアンカーの樹脂が固まるまでの仮設時および数十年に渡って，確実に性能を発揮するための知見を得るため，系統的な引き抜き試

験をおこなう。試験結果に基づき，実構造物での施工条件に対応した，アンカーの適切な使用方法について検討する。

2. 実験の概要

樹脂接着併用打ち込みアンカーの引き抜き特性を知るため，系統的な引き抜き試験をおこなった。引き抜き試験は角柱供試体を作成したあと，2.1に示すアンカーをあと施工し，所定の養生期間後におこなった。パラメータは，アンカーの埋め込み長，母材（コンクリート）圧縮強度，充填樹脂の有無，孔内の水分の有無である。

2.1 使用材料

実験に使用した材料の物性について説明する。

(1) アンカーピン

図-1にアンカーピンの形状を，表-1にアンカーピンの寸法を示す。構造は拡張部が中空の拡底式アンカーであり，有効長 L がコンクリートに埋め込まれる。アンカーピンの断面積は軸部が拡張部より大きい。また，埋め込み長によって拡張部のない軸部の長さが異なっている。20mmのカップリングは引き抜き試験のための治具である。

*1 横浜国立大学大学院 工学府社会空間システム学専攻 (正会員)

*2 横浜国立大学大学院 工学研究院 助教授 博(工) (正会員)

*3 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事部 構造技術センター (正会員)

*4 サンコーテクノ株式会社 カスタマーテクノセンター アンカーエンジニアリング G 次長

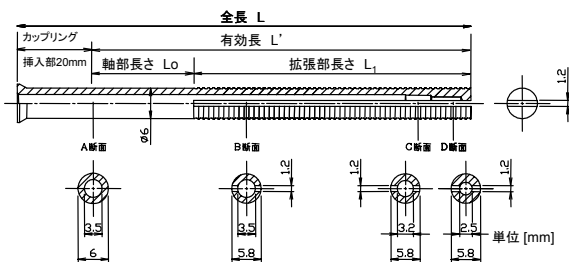


図-1 アンカーピン図

表-1 アンカーピンの寸法一覧表 単位 [mm]

埋め込み長	アンカー径 ϕ	全長 L	有効長 L'	軸部長さ L ₀	拡張部長さ L ₁
30	6	50	30	0	30
40	6	60	40	10	30
60	6	80	60	5	55
70	6	90	70	15	55
90	6	110	90	35	55

(2) アクリル樹脂

樹脂接着剤には、主成分を変性アクリルとするアクリル樹脂を用いた。表-2 にアクリル樹脂の物性値を示す。

表-2 アクリル樹脂の物性値

項目	物性値	試験方法
圧縮強度 [MPa]	80	JIS K 7208
圧縮弾性率 [MPa]	740	JIS K 7208
引張強度 [MPa]	30	JIS K 6911
曲げ強度 [MPa]	38	JIS K 6911

2.2 試験パラメータ

表-3 に試験体の一覧を示す。以下の4項目を試験におけるパラメータとした。

- (1) 埋め込み長：30mm (5 ϕ), 40mm (6.7 ϕ), 60mm (10 ϕ), 70mm (11.7 ϕ), 90mm (15 ϕ) の5種類。 [ϕ :アンカー径]
- (2) 母材(コンクリート)の圧縮強度：10MPa, 18MPa, 25MPaの3種類。
- (3) 充填樹脂の有無：(N：樹脂なし, A：アクリル樹脂)の2種類。
- (4) 孔内の水分の有無 (D：乾燥条件, W：湿潤条件)の2種類。

1パラメータにつき、5体引き抜き試験をおこない、試験体総数は210体である。表中の試験体名は以下のように決定した。

AD25-70(例) 第1記号は樹脂なし(N)とアクリル樹脂(A)を、第2記号は乾燥条件(D)と湿潤条件(W)の区別を示す。また、第1項の数字は母材(コンクリート)の圧縮強度(MPa)を、第2項の数字は埋め込み長(mm)を示す。

表-3 試験体の一覧

試験体名	樹脂の種類 (N, A)	孔内の水分の有無 (D, W)	試験日のコンクリートの圧縮強度 (MPa)	埋め込み長 (mm)	試験日材齢 (日)	最大荷重の平均値 (kN)	アンカー破断した試験体の数 (5本中)	試験体中の引き抜き試験実施箇所 (図-2)
ND10-40	樹脂なし (N)	乾燥条件 (D)	10.84	40	29	3.80	0	—
ND10-70			10.84	70	29	4.51	0	—
ND18-40			17.22	40	30	5.04	0	上面
ND18-70			17.22	70	30	4.97	0	上面
ND25-40			25.46	40	28	6.16	0	上面
ND25-70			25.46	70	28	6.37	0	上面
AD10-30	アクリル樹脂 (A)	乾燥条件 (D)	9.6	30	31	3.57	0	—
AD10-40			10.61	40	31	4.24	0	—
AD10-60			9.6	60	31	9.03	1	—
AD10-70			10.61	70	31	8.92	1	—
AD10-90			9.6	90	31	10.81	3	—
AD18-30			18.54	30	34	4.60	0	側面下部
AD18-40			17.36	40	35	5.93	0	側面下部
AD18-60			18.54	60	35	7.87	0	側面上部
AD18-70			17.54	70	34	7.63	1	側面上部
AD18-90			18.52	90	36	12.20	5	底面
AD25-30			26.3	30	34	6.38	0	側面下部
AD25-40			26.86	40	35	8.54	0	側面下部
AD25-60		25.46	60	35	10.18	3	側面上部	
AD25-70		26.3	70	34	9.94	4	側面上部	
AD25-90		26.3	90	36	12.13	5	底面	
AW10-30		湿潤条件 (W)	8.21	30	32	3.62	0	—
AW10-40			9.96	40	34	6.17	0	—
AW10-60			8.21	60	32	7.52	0	—
AW10-70			9.96	70	34	8.54	1	—
AW10-90			8.21	90	34	11.72	3	—
AW18-30			18.54	30	34	5.52	0	側面下部
AW18-40			17.36	40	35	7.26	0	側面下部
AW18-60			18.54	60	35	8.99	0	側面上部
AW18-70			17.54	70	34	10.17	2	側面上部
AW18-90	18.52		90	36	13.21	5	底面	
AW25-30	26.3		30	32	6.57	0	側面下部	
AW25-40	26.86		40	33	9.04	0	側面下部	
AW25-60	26.86	60	33	10.54	4	側面上部		
AW25-70	26.3	70	32	11.44	5	側面上部		
AW25-90	26.86	90	33	12.97	5	底面		

2.3 試験体の作成方法

(1) 圧縮強度 10MPa の試験体

1辺 300mm の立方体のコンクリートブロックを作成し、上面の打ち込み面を除く 5 面の中央にアンカーをそれぞれ 1 本ずつあと施工した。

コンクリートの配合を表-4 に、使用材料を表-5 に示す。水セメント比が高いため、材料分離を低減するために石灰石微粉末とセルローズ系増粘剤を添加した。

表-4 配合表 (圧縮強度 10MPa)

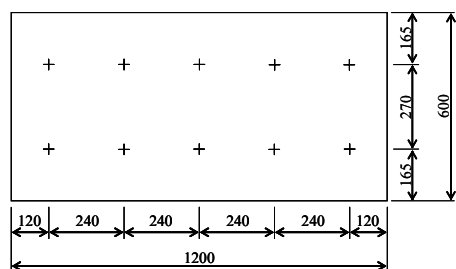
圧縮強度 (MPa)	粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位数 (kg/m ³)					
				水 W	セメント C	石灰石微粉末	細骨材 S	粗骨材 G	増粘剤
10	20	120	48	210	175	245	710	841	0.63

表-5 使用材料 (圧縮強度 10MPa)

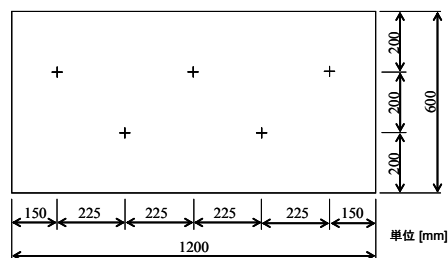
セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	君津産 (密度2.48g/cm ³ , 吸水率4.83%, 粗粒率2.02)
粗骨材	津久見産 (密度2.70g/cm ³ , 吸水率0.37%, 粗粒率6.61)

(2) 圧縮強度 18MPa・25MPa の試験体

幅 1200mm, 高さ 600mm, 奥行き 600mm の直方体の供試体をレディーミクストコンクリートを用いて作成し、図-2 に示す箇所にアンカーを施工した。+印がアンカー設置位置である。材料分離の低減のため、バイブレーターは用いず付き棒によって付き固めた。



アンカー施工位置 (上面及び側面)



アンカー施工位置(底面)

図-2 コンクリートブロック試験体

スランプの実測値は、圧縮強度 18MPa で 18.5cm, 圧縮強度 25MPa で 6cm であった。

コンクリートの配合を表-6 に、使用材料を表-7 に示す。

表-6 配合表 (圧縮強度 18, 25MPa)

圧縮強度 (MPa)	空気量 (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位数 (kg/m ³)					
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤	増粘剤
18	5	20	8	68.5	46.8	170	248	864	1019	2.48	0.51
25	5	20	8	56.5	45.4	164	290	823	1035	2.90	0.49

表-7 使用材料 (圧縮強度 18, 25MPa)

セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	君津産 (密度2.61g/cm ³ , 粗粒率2.70)
粗骨材	両神産 (密度2.71g/cm ³ , 粗粒率58.0)

2.4 アンカーの施工方法

図-3 にアンカーの施工断面図を示す。施工方法を以下に示す。

施工位置にドリルで穿孔した。穿孔径は 6.6mm, 穿孔深さが埋め込み長+5mm とした。穿孔する際には、2 方向からドリルの垂直を確認した。孔内の粉はコンプレッサーで除去した。次に、実施工で用いられる注入具により樹脂接着剤を注入するが、このとき、孔内に空隙のできないように孔の底から注入した。アンカーを挿入し、芯棒を打ち込んだ。

湿潤条件の場合は、穿孔したあと、孔内に 1 日間水を張り、その後孔内の水をコンプレッサーで取り除き、孔内が乾燥しないうちに、ただちに樹脂接着剤を注入した。

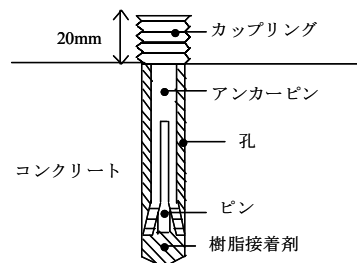


図-3 アンカー施工断面図

2.5 載荷方法

加力装置図を図-4 に示す。載荷はアンカー施工してから 3 日後以降におこなった。コーン

破壊時の破壊形態を阻害しないように中央に穴（埋め込み長の2倍以上）のあいた支圧板を用いた。載荷スピードは最大荷重に達するまで約5分とした。アンカーの破断，コーン破壊に至るまで載荷をおこなった。

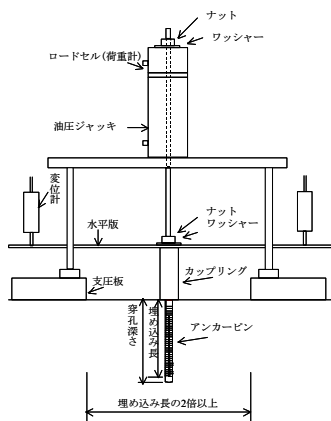


図-4 加力装置図

3. 実験結果と考察

3.1 荷重と変位の関係

図-5 から図-7 に ND18-70, AW18-70 および AW18-90 の荷重変位グラフを示す。グラフは同条件でおこなった5体の引き抜き試験全てを示した。引き抜き試験で得られた荷重の最大値を最大荷重とした。

樹脂なし (N) とアクリル樹脂 (A) のグラフを比較すると、初期剛性が異なり、樹脂によって初期剛性が発揮されているのがわかる。

図-5 より、荷重変位グラフに凹凸がみられる。これはアンカーの拡底部に骨材がかむことによりもたらされていると思われる。図-6 と図-7 では、図-5 ほど凹凸がみられない。これは、主たる耐荷力が樹脂の接着力によりもたらされ、荷重が大きくなるために骨材がかむことの影響が出にくいためと思われる。

図-6 の AW18-70 では、条件は同じだが、破壊形態がアンカー破断とコーン破壊が混在している。荷重が急激に低下する2体がアンカー破断である。破断位置は拡張部であり、最大荷重は約 10kN である。

図-7 の AW18-90 では、破壊形態は全てアンカー破断である。破断位置は軸部であり、最大

荷重は約 13kN である。拡張部で破断するときの 10kN よりもかなり大きな値となる。

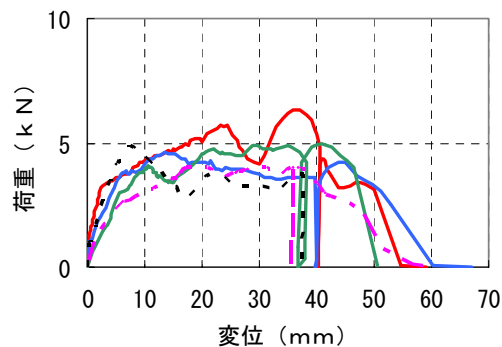


図-5 荷重変位関係 (ND18-70)

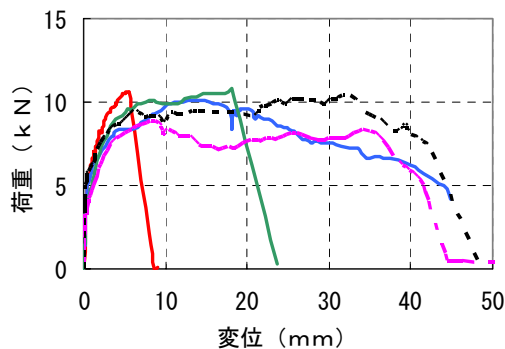


図-6 荷重変位関係 (AW18-70)

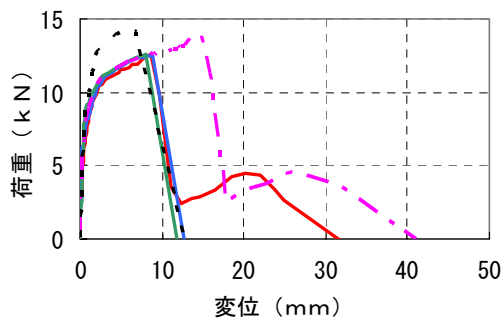


図-7 荷重変位関係 (AW18-90)

3.2 仮設時の性能

図-8 は ND シリーズ (樹脂なし, 乾燥条件) の最大荷重の平均値をプロットしたものである。破壊形態が異なる場合もあるが5体それぞれの最大荷重の平均値を各パラメータの最大荷重として整理した。樹脂なしの場合、10MPaにおいてやや差がみられるが、最大荷重が埋め込み長に依存しないといえる。

樹脂の固まるまでの短期性能は列車風圧

(3kN/m²) に耐えうる耐力が要求されている。樹脂がない場合は、最大荷重が母材（コンクリート）圧縮強度の影響を強く受けるので、現場のコンクリートが低強度のときにはアンカーの本数を増やすなどの対処が必要といえる。樹脂が固まるまでの時間は長くないため、安全率を見込む必要はないと考えている。

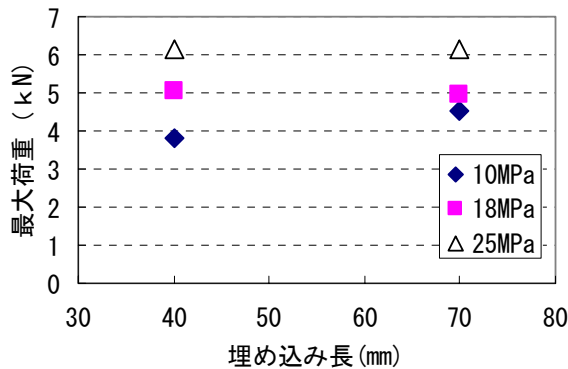


図-8 NDシリーズの最大荷重

3.3 長期の耐久性能

3.3.1 埋め込み長の影響

図-9と図-10はADシリーズ（アクリル樹脂，乾燥条件）とAWシリーズ（アクリル樹脂，湿潤条件）の最大荷重の平均値をプロットしたものである。これより，孔内の水分の有無にかかわらず埋め込み長が長いほど，また，母材（コンクリート）圧縮強度が高いほど，最大荷重が上がる事がわかる。

図-9において埋め込み長 60mm, 70mm の場合に 18MPa の方が 10MPa より最大荷重が小さくなっている。そこで，直径 46mm，高さ 92mm の小径コアを取り出し圧縮強度を測定したところ AD18-60, 70 及び AW18-60, 70 の試験面である側面上部で圧縮強度が 13.7MPa 及び 12.6MPa という結果となった。大型試験体の作成には細心の注意を払ったが，試験体各部の強度には多少のばらつきが生じており引き抜き試験結果もその影響を受けていると思われる。

埋め込み長が 60, 70mm に比べ，90mm になると軸部が長くなるため，破断箇所は拡張部ではなく，コンクリート中にある断面積の大きな

軸部で破断し，最大荷重が上がる。よって，10kN以上の荷重はアンカーの形状によってもたらされた結果であり，実施工においては 10kN 程度を最大荷重とみなすのが適当である。

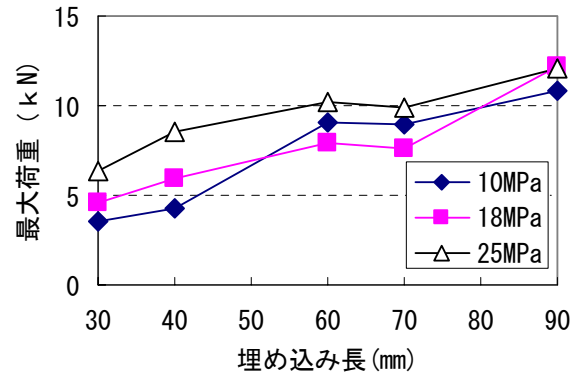


図-9 ADシリーズの最大荷重

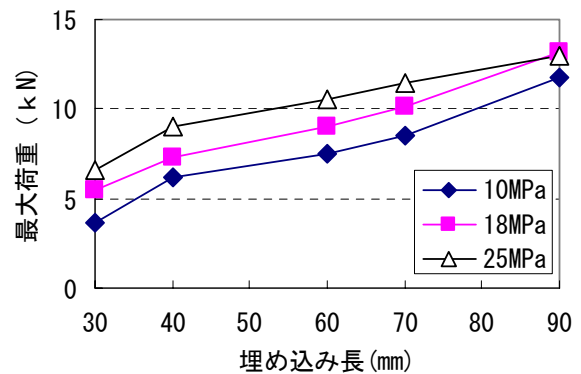


図-10 AWシリーズの最大荷重

3.3.2 母材（コンクリート）圧縮強度の影響

図-11と図-12は，樹脂接着併用打ち込みアンカーの最大荷重が機械的な定着による荷重と樹脂接着剤による荷重の単純な足し合わせと仮定した場合のそれぞれの寄与分を示したものである。機械的な定着による寄与分として，樹脂なしのNDシリーズの結果を用いている。

埋め込み長の短い場合は，機械的な定着の寄与分が大きく，コンクリート強度の影響を受ける。また，乾燥条件では樹脂の寄与分もコンクリート強度の影響を大きく受ける。したがって，埋め込み長の短い場合は現場のコンクリート強度の調査を十分におこなって使用することが重要といえる。

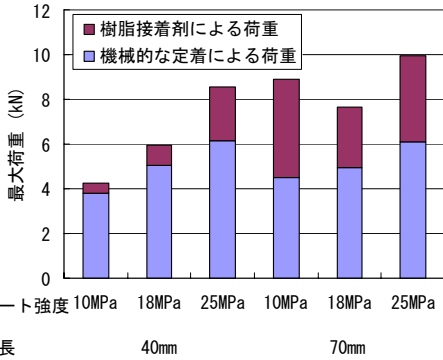


図-11 機械的な定着と樹脂接着剤の寄与分 (乾燥条件)

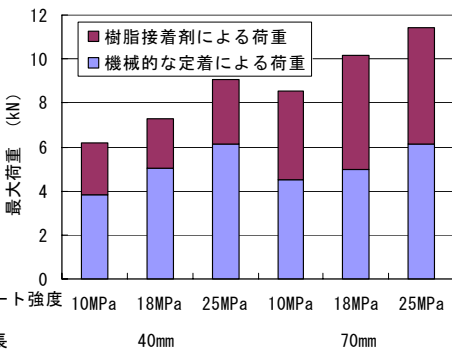


図-12 機械的な定着と樹脂接着剤の寄与分 (湿潤条件)

3.3.3 孔内の水分の有無が及ぼす影響

本来は水分があることでアクリルの接着力が低減すると予測していたが、そうでない結果があらわれた (図-13)。この原因として、切粉が水で流された影響が考えられる。実施工においては漏水の少ない箇所ではコンプレッサーを用いて孔内の水分を除去することで十分な性能が発揮されると考えられる。

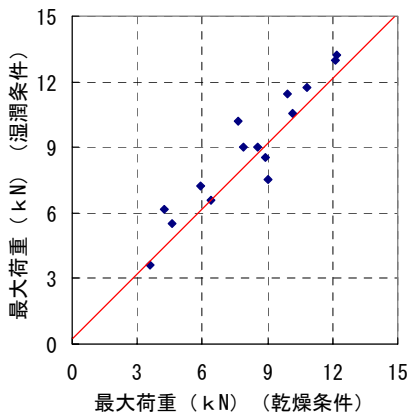


図-13 乾燥条件と湿潤条件の比較

4. 許容引き抜き荷重の設定

表-8 樹脂接着併用打ち込みアンカーの許容引抜荷重

埋め込み長 (mm)		許容引抜荷重 (kN)		
		40	70	90
コンクリート 圧縮強度 (MPa)	10	1	2.5	3
	18	1.5	2.5	3
	25	2.5	3	3

表-8は、AD、AWシリーズのうち低い値をとり、実施工における施工精度および長期に渡る性能の保証を考慮して、安全率3以上を見込んで設定した許容引抜荷重である。最大荷重は10kNとして算定した。適用範囲は本試験で使用したアンカーピンおよびアクリル樹脂の場合である。今後は、JR東日本ではこの許容引抜荷重に基づき、既設トンネルの補強を実施する予定である。

5. まとめ

樹脂接着併用打ち込みアンカーの系統的な引き抜き試験の結果に基づいて、以下の結論を得た。

(1) 樹脂のない場合、最大荷重は埋め込み長にほとんど依存せず、コンクリートの圧縮強度の増加とともに大きくなった。

(2) 樹脂接着併用打ち込みアンカーは、埋め込み長が長くなるほど、またコンクリート強度が高くなるほど、最大荷重が大きくなった。埋め込み長が40mmと短い場合、アンカーの耐力はコンクリート強度の影響を強く受ける。

(3) 充填樹脂がアクリル樹脂の場合、孔内を湿潤状態にしてもアンカーの引き抜き耐力は低下しない。

(4) 樹脂接着併用打ち込みアンカーの許容引き抜き荷重を定めた。

参考文献

- 1) 新堀敏彦, 松田芳範: トンネルのはく落対策AAA (トリプルA) 工法の開発と施工—トンネル覆工の恒久対策工として—, 土木施工, Vol.42, No.2, pp.24-30, 2001.2