

論文

[2023] 樹脂注入を伴うあと施工アンカーボルトの耐荷性状

正会員○中川和彦（長岡技術科学大学大学院）

正会員 丸山久一（長岡技術科学大学）

竹下 輝（東急建設（株）技術本部）

松尾正喜（戸田建設（株））

1. はじめに

既存コンクリート構造物に種々の非構造部材や付属機器設備等を取付けたり、耐震補強用の鋼板や鋼フレーム等を固定する目的であと施工アンカーが用いられている。あと施工アンカーのなかでも定着機構が明確で信頼性の高いアンダーカットタイプが注目されているが、頭付きスタッド等の先施工アンカーと比較した場合、最大耐力はともかくとして、載荷初期における変位のばらつきが大きく、また、最大耐力までに大きな変位を生じることもある。この理由としてアンカーボルト構成部材間の隙間やアンダーカット部の穿孔の不均一さによるアンカースリーブとコンクリートとの接触の不完全さが考えられる。そこで、アンカーボルトとコンクリートの接触部を均一にし、初期変位を小さくするため、アンカーボルト敷設後に樹脂を注入する工法を試みた。本論文は、この工法の有効性について検討したものである。

2. 樹脂注入

2.1 樹脂の物性

樹脂は、常温硬化型のエポキシ樹脂系接着剤を用いた。

これは、主にコンクリート構造物のひび割れや隙間などを充填接着する部分注入補修用として最適な接着剤である。また、揺変性に富んだタイプで、見かけは高粘度でありながら施工性は優れているという特徴を持つ。樹脂の物性を表-1に示す。

表-1 樹脂の物性

可使時間 (分)	100	5±1°C 標準状態
硬化時間 (時間)	23	
接着強さ (kgf/cm ²)	71	20±1°C 7日間硬度
硬化収縮率 (%)	0.52	
圧縮強さ (kgf/cm ²)	650	
圧縮弾性係数 (kgf/cm ²)	1.5×10 ⁴	
曲げ強さ (kgf/cm ²)	600	
引張強さ (kgf/cm ²)	360	
伸び率 (%)	3	
硬度 (ショア-D)	82	

2.2 注入方法

注入方法は以下に示す手順により行なった。

1) 通常のアンダーカット型アンカーボルトの施工方法でアンカーボルトをセットし、ボルト頭部をシールテープで養生する。

2) ボルト頭頂部にアダプターを取り付け、グリガンによりボルトとアンカースリーブとの隙間から樹脂を注入する。アンカースリーブとコンクリート孔壁の隙間から樹脂が溢れ出した時点で注入終了とする。充填状況を図-1に示す。

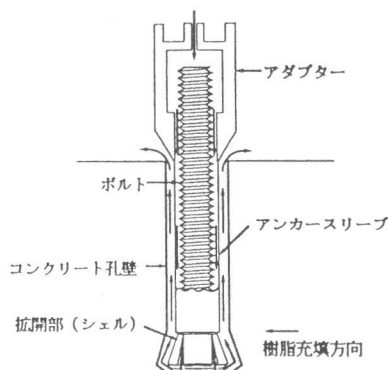


図-1 樹脂充填状況

3) 可使時間内にボルト頭部（ねじ部）の樹脂をふき取る。

2.3 初期トルク導入時期

実施工においてはアンカーボルトを敷設後、留付け物固定時に初期トルクを導入する予定であり、その時期を検討する目的で、樹脂注入直後（可使時間内（約5分））にトルクを導入するものと、樹脂硬化後（樹脂注入後7日目）に初期トルクを導入するものの2種類を考慮することとした。

3. 引抜試験

3.1 供試体の種類

表-2に供試体の種類を示す。アンカーボルトは、ステンスタイプ（A4-70），引張強度 71.4kgf/cm^2 ，埋め込み深さ6cmのアンダーカット型アンカー（Fischer-Zykon-Anchor FZA18×60 M12）を用いた。作業姿勢はアンカーボルト敷設・樹脂注入とも下向きとした。

アンダーカット型アンカーの問題点を明確にするため、供試体として従来型（初期トルク導入）、樹脂注入型を取り上げ、さらに樹脂注入については初期トルク導入時期を前述の2種類とした。

樹脂注入直後に初期トルクを導入すると樹脂がまだ柔らかくボルトの先端部，アンカースリーブ拡開部（シェル）とコンクリート孔壁は、かなり密接した状態になり、この部分は従来型とほぼ同じと考えられる。しかし、ボルトとアンカースリーブ間およびアンカースリーブとコンクリート間の隙間は樹脂で充填されており、耐荷性状、特に初期剛性の改善には有効であると予測される。樹脂硬化後に初期トルクを導入するものは、実施工における状況を考慮したものである。

樹脂を注入した供試体は、すべて樹脂注入後7日目に引抜試験を行なった。また、トルクはメーカーの規定により 400kgfcm とした。供試体の本数は各ケースとも16本とした。

表-2 供試体の種類

	初期トルク	初期トルク導入時期	ボルト	試験本数
case 1 (従来型)	400kgfcm	試験直前	M12 埋込み深さ h=6cm	各16本
case 2 (樹脂注入)		樹脂注入直後		
case 3 (樹脂注入)		樹脂注入後7日目		

アンカーボルト埋め込み用のコンクリートは、圧縮強度 $f_c' = 240\text{kgf/cm}^2$ 最大骨材寸法25mm，設計スランプ8cmの早強セメントを用いたレディミクストコンクリートで、部材形状は $1200\text{mm} \times 1800\text{mm} \times 200\text{mm}$ のスラブとした。

3.2 実験装置

図-2に実験装置の概要を示す。

初期トルク導入時，静的引抜試験時において、変位は、ひずみ変換型変位

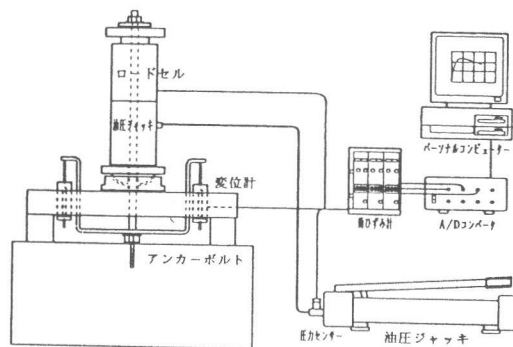


図-2 実験装置概要

計により計測し、動ひずみ計、A/Dコンバーターを介してマイクロコンピューターにデータを取録した。静的引抜試験における荷重の検出には、20tonロードセルおよび油圧ジャッキに取付けられた圧力センサーを用いた。また、載荷はセンターホールジャッキを用いて行なった。反力台および変位計据付位置は破壊の影響範囲を考慮し、アンカーボルト中心から埋め込み深さの2倍以上離してセットした〔1〕。

4. 実験結果

4.1 初期トルク導入時のボルトの変位

図-3に従来型および樹脂注入直後にトルクを導入した場合におけるトルク値-変位の実測結果において、変位が最大、最小および平均的なものの3体について各々示す。

トルク値-変位の関係では、従来型の変位のばらつきがかなり大きく、樹脂注入を行なったものでも従来型ほどではないが変位にばらつきあることが分かる。樹脂硬化後に初期トルクを導入する場合には、初期トルクの導入による変位はほとんど生じなかった。

4.2 荷重変位曲線

図-4(a),(b),(c)に従来型(case1)、樹脂注入直後トルク導入(case2)、樹脂硬化後トルク導入(case3)の荷重変位曲線を最大耐力時の変位が最大、最小および平均的なものの3体について各々示す。従来型では、初期すべり、剛性、および最大耐力点に至るまでの変形特性にかなりのばらつきが認められる。これに対し、樹脂注入型では、初期剛性が高く、かつばらつきは少なく、安定した性状を示している。

図-5に従来型、樹脂注入直後トルク導入、樹脂硬化後トルク導入の3種類における平均的な荷重変位曲線を示す。

従来型は初期の剛性が低く、また、荷重の増加に伴う変位が大きい傾向にある。

支圧応力を直接コンクリート孔壁に伝える点では同じである従来型と樹脂注入直後にトルクを導入したものと比較した場合、最大耐力時の変位を見ると平均値で2倍近く従来型の方が大きな値を示している(表-3参照)。

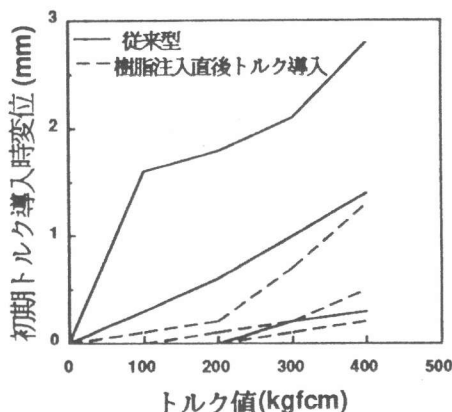


図-3 初期トルク導入時の変位

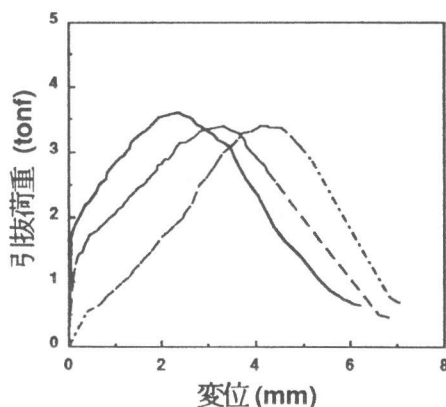


図-4(a) 荷重変位曲線 (case1)

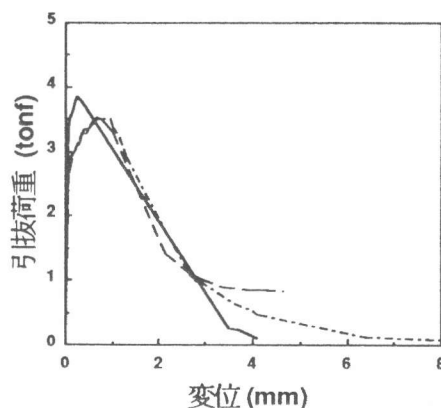


図-4(b) 荷重変位曲線 (case2)

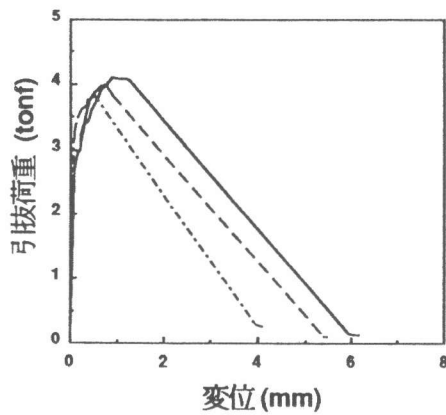


図-4(c) 荷重変位曲線(case3)

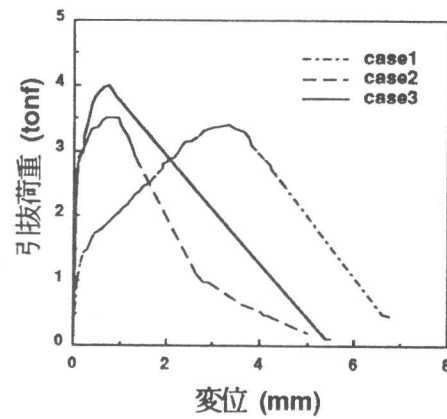


図-5 荷重変位曲線の比較

樹脂を注入した場合は初期剛性が高く、最大耐力付近では多少剛性が低くなるが従来型と比較すると剛性低下はかなり少ない。

4.3 初期剛性

図-6に3種類の供試体の初期剛性を示す。ここでの初期剛性の定義は、変位が0.1mmに達したときの荷重とした。

従来型は樹脂注入型に比べ、初期剛性がかなり低く、かつばらつきも大きいことがわかる(表-3参照)。

樹脂注入型では、樹脂注入直後トルク導入の方が初期剛性が少し高いが、樹脂硬化後トルク導入よりばらつきが若干大きい傾向にある。

4.4 最大耐力

図-7は3種類の条件における最大耐力の比較を示している。また、樹脂注入型の最大耐力の評価の目安とするために、丸山・森山の算定式[2]、Eligehausenの算定式[3]も図中に示した。

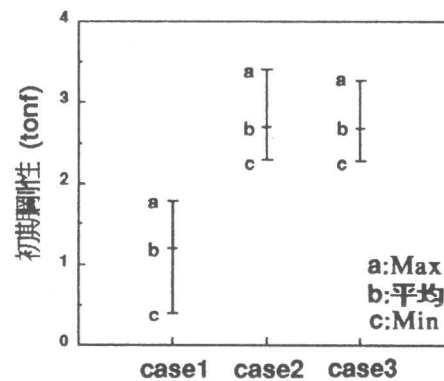


図-6 初期剛性の比較

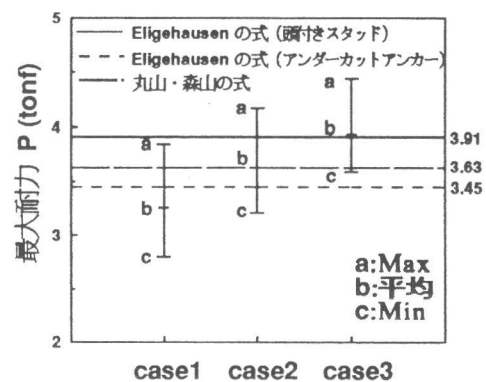


図-7 最大耐力の比較

丸山・森山の算定式

$$P_{max} = 18ft(0.9h + 0.1h^2)$$

$$ft = 0.58fc^{2/3}$$

Eligehausenの算定式

$$P_{max} = 15.15fc^{1/2}h^{3/2} \quad (\text{アンダーカットアンカー})$$

$$P_{max}=17.17fc'^{1/2}h^{3/2} \quad (\text{頭付きスタッドアンカー})$$

ここで、 fc' :コンクリート圧縮強度 (kgf/cm^2), h :埋め込み深さ (cm)

丸山・森山の算定式では、 $P_{max}=3.63\text{tonf}$, Eligehausenの算定式では、 $P_{max}=3.91\text{tonf}$ (頭付きスタッド), $P_{max}=3.45\text{tonf}$ (アンダーカットアンカー) という算定値が得られている。

最大耐力は、従来型 < 樹脂注入直後トルク導入 < 樹脂硬化後トルク導入の順で高くなっている。実測値と丸山・森山,

Eligehausen (アンダーカットアンカー) の式による算定値を比較すると、樹脂注入直後に初期トルクを導入したものは平均値がほぼ算定値と等しく、樹脂硬化後に初期トルクを導入したものは、最大耐力の平均値は約1割程度算定値より大きな値となっている。

表-3 各パラメーターの平均と標準偏差

	従来型	樹脂注入直後トルク導入	樹脂硬化後トルク導入
トルク導入時変位(mm)	1.03	0.84	0
標準偏差	0.829	0.53	0
剛性 (ton)	1.34	2.72	2.46
標準偏差	0.403	0.319	0.262
最大耐力 (ton)	3.25	3.64	3.93
標準偏差	0.266	0.322	0.246
最大荷重時変位 (mm)	2.61	1.21	1.02
標準偏差	0.874	0.461	0.357

コンクリート圧縮強度 $fc'=240\text{kgf/cm}^2$

また、実測値とEligehausen (頭付きスタッドアンカー) の式による算定値と比較すると樹脂硬化後に初期トルクを導入したものの平均値とほぼ等しくなっている。

4.5 破壊形状

図-8(a),(b)にコーン状破壊断面の一例を示す。破壊断面は、既往の研究で明らかになっているように3段階で構成されている。第一段階は急激な角度 ($40\sim 50^\circ$) で立ち上がり、第二段階で緩やかな勾配 ($20\sim 35^\circ$) になり、更に第三段階で勾配が緩くなる形状を示している [1]。

従来型では、第一段階の平均は 44.4° 第二段階の平均は 21.0° であるのに対し、樹脂注入型では、それぞれ 44.9° , 21.5° であり、2つの間に大差はないことがわかる。しかし、従来型ではアンカーボルト先端部の滑り量が大きく、 $3\sim 5\text{mm}$ 程度であったのに対し、樹脂注入型では $1\sim 2\text{mm}$ と滑り量が少なくなっていた (図-8の楕円内参照)。

これは、従来型では支圧破壊によるものと、アンカーボルトとコンクリートが完全に密着していないために生じる変位がプラスされるために大きくなると考えられる。

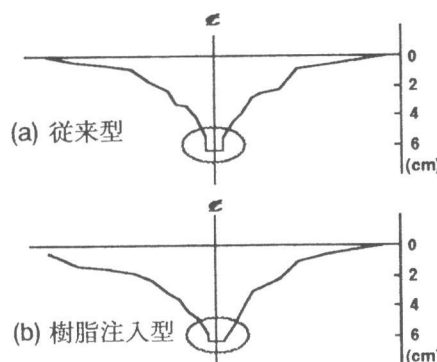


図-8(a),(b) 破壊形状

5. 考察

従来型では、初期トルク導入時の変位、荷重変位曲線、初期剛性において、かなりのばらつきが生じていた。この原因として、穿孔したコンクリート孔壁が施工状況により様々でありアンカー拡開部とコンクリート孔壁との接触面が不均一である事が挙げられる。また、荷重の増加に伴う変位が大きい原因としては、ボルト、アンカースリーブ、コンクリート孔壁等の構成部材間に隙間があること、コンクリートの支圧破壊による変位があることが考えられる [4]。

樹脂注入型が従来型に比べ初期剛性、最大耐力が大きくなるのは、ボルトとアンカースリーブおよびコンクリートが樹脂の充填により一体化しており、アンカーボルト拡開部からコンクリート孔壁への力の伝達がスムーズになったためと考えられる。また、樹脂注入直後に初期トルクを導入したものと樹脂硬化後に初期トルクを導入したもので最大耐力に若干の差がでるのは、初期トルク導入時の変位が埋め込み深さを多少変化させているものと考えられる。

6. まとめ

樹脂注入による効果は、以下のように表すことができる。

1)トルク導入時変位

トルク導入時の変位は、樹脂硬化後にトルクを導入するものではほとんど変位が生じず、穿孔の不均一による変位のばらつきが生じない。一方、樹脂注入直後にトルクを導入するものは、樹脂がまだ柔らかく、コンクリート孔壁の形状に左右され、トルク導入によるボルトの変位はばらつきが生じている。

2)初期剛性

樹脂を注入することにより、アンカーボルトからコンクリートへの力の伝達がスムーズになり初期剛性が大きくなるとともにばらつきも小さくなる。

3)最大耐力

樹脂注入直後トルク導入では約1割、樹脂硬化後トルク導入では約2割、最大耐力が向上した。

〔謝辞〕

本研究の実験の遂行にあたり、ボッシュ株式会社の大川省吾氏には供試ボルト提供等のご支援を頂き、また、長岡技術科学大学技官の中村裕剛氏には実験の実施にあたって多大なご協力を頂きました。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 百瀬光弘, 丸山久一, 清水敬二: アンダーカット型アンカーボルトの性状に関する研究 第12回コンクリート工学年次論文報告集No.2, pp123~123, 1990
- [2] 森山智明, 丸山久一, 清水敬二: 後施工アンカーボルトの引抜耐荷機構に関する研究 第13回コンクリート工学年次論文報告集 No.2, pp923~928, 1991
- [3] Eligehausen, R.; Sawade, G.: Verhalten von beton auf zug (Behavior of concrete in tension): Betonwerk + Fertigteik, No.5 and No.6, 1985, in German and English
- [4] 松崎育弘: コンクリート部材に定着したアンカーボルトの支持耐力, コンクリート工学, Vol.22, No.7, 1984, pp54~61