

(36) 締め付けトルクを受ける 接着系あと施工アンカーの 力学的性状とその活用に関する研究

大谷恭弘¹・野寄貴大²

¹正会員 神戸大学大学院・工学研究科建築学専攻 准教授
(〒657-8501兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail : Ohtani@kobe-u.ac.jp

²非会員 神戸大学大学院・工学研究科建築学専攻・博士課程前期課程1年生
(〒657-8501兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail : 152t044t@stu.kobe-u.ac.jp

RC要素に埋め込まれた接着系あと施工アンカー露出部のネジ部を利用し鋼要素と緊結する際に、高力ナットによる締め付けトルクを作用させた場合や、その基礎データとして、アンカーにトルクを直接作用させた場合における力学的性状や破壊性状を実験的に研究した。締め付けトルクを作用させた場合には、アンカーに引張力とトルクが作用し、それらは弾性範囲内において、導入したトルクと線形式で関係づけられることがわかった。また、トルク作用のみを受けるアンカーのすべり出し荷重を用いた強度評価法と、必要埋込み深さの評価法を提示した。更に、アンカーに締め付けトルクを作用させることでRC要素と鋼要素の界面に支圧力を導入し、摩擦力によるせん断ずれ剛性を上昇させる活用法を提案する。

Key Words : Fixing, Jointing Material, Twisting, Experimentation, Earthquake strengthening

1. はじめに

耐震補強ではコンクリート要素と鋼要素の接合部に広く接着系あと施工アンカー（以下、アンカー）が用いられている。接合部には引拔力やせん断力に対する十分な定着性能が求められるが、アンカー単体のせん断剛性が軸部の曲げに依存する場合、十分なせん断剛性を確保するには多数のアンカーが必要となり経済的ではない。そこでアンカーに締め付けトルクを作用させ、コンクリート要素と鋼要素との界面に支圧力を導入することで、アンカーの定着性能の向上を図る構法の開発を目的に研究を行った。しかし、アンカーネジ部でナットの締め付けを行った際のトルクと引拔力が同時に作用する場合や、アンカーに直接トルクを作用させた場合の力学的性状に関するデータは少ない。そこで、本研究ではネジ切鋼棒や異形鋼棒を用い、埋込長さや形状、接着材を変化させ、それらについての実験を行った。これらの実験結果を用い、トルクに対する強度評価法の提案や締め付けトルクの活用に関する提案を行う。

2. ナット回転による引抜実験

本実験では、アンカーに対して、ねじ部を利用し、ナット回転を作用させた際の力学的性状、破壊性状を考察する。

(1) 試験体および実験方法

表-1に試験体の一覧を示す。アンカー鋼棒には鋼種SNB7(降伏応力806(N/mm²), 引張強さ963(N/mm²), ヤング係数 1.94×10^5 (N/mm²)), 軸径M20のねじ切り鋼棒を用い、埋め込み深さは耐震補強での使用を想定し、8dを採用する。表中に記載されている実験変数は以下の通りである。

- 1) 接着材には無機系接着材を2種類、樹脂系接着材1種類（無機1, 無機2, 樹脂と表記）

「無機1」はガラス管カプセルが二重になっており、水+骨材および接合材が別々に封入されているタイプのものである。

「無機2」は、和紙カプセルの中に膨張性急硬モルタルが入っており、使用方法は和紙カプセルを所定

時間水道水に浸し、吸水させて使用するタイプのものである。

「樹脂」は、フィルムカプセルの中にエポキシアクリレート樹脂・粒上硬化剤等が封入されているタイプのものである。

- 2) 先端形状には先端を45度に加工した「レ型」と、耐力機構を改善する為に、筆者らが開発した「改良型ナット」（図-1参照）を先端に付けたものの2種類を使用。

また図-2には試験体の一例を、図-3には載荷時のセットアップを示す。試験体はベースコンクリートにそれぞれ接着材メーカーが定める所定の径で穿孔し、ブラッシングやブローヤなどによる後処理を行った後、アンカーを打設。ベースコンクリートの寸法はW800×D1000×H400(mm)であり、圧縮強度は22.0(N/mm²)である。コンクリート上面のアンカー周囲に鋼脚要素を設置し、穴あき反力板を載せ、球面座金、ワッシャーを介して高力ナットを取り付けた。トルクモーメント載荷時には高力ナットにトルク載荷用ロードセルを取り付け、それに緊結金具を介して対称になるようにモーメントアームバーを取り付けた。バーの両端にばねばかりを介して均等に力を作用させることでトルクモーメントを高力ナットに作用させた。

(2)測定項目

当実験で測定した項目は以下の通りである。

- 1) 高力ナットに作用させたトルクモーメント(Nm) (以下、導入トルク)。
- 2) アンカーの露出側ネジ部を切削加工した部分に貼ったひずみゲージにより得られる、アンカー鋼棒に伝達されたトルクモーメント(Nm) (以下、鋼棒トルク)
- 3) 2)の手法で測定する鋼棒の縦ひずみ。

(3)強度性状

表-2に各試験体の最大耐力あるいは最大導入トルクを示す。D-M20 8d(レ)を除く3体はロードセルの測定限界を超えてしまう為、載荷を中断した。この場合最大耐力は導入トルク以上と考えられる。D-M20 8d(レ)とD-M20 8d(改)を比較すると、先端形状がレ型に対して改良型ナット付は最大耐力が上がっていることがわかる。図-4に載荷後に油圧ジャッキを用いて、それぞれ試験体のアンカーを引き抜き、耐力機構を確認したものを示す。D-M20 8d(レ)は鋼棒—接着材間付着破壊で、D-M20 8d(改)はコンクリートのコーン破壊が観察された。

以上から先端形状を改良型ナットを取り付けたものにする事で、耐力機構を変え、試験体の最大耐力が上

表-1 試験体一覧

試験体	接着材	埋込み深さ	先端形状
D-M20 8d (改)	無機2	8d(160mm)	改良型ナット付
D-M20 8d (レ)	無機2		レ型
O-M20 8d (レ)	無機1		
C-M20 8d (レ)	樹脂		

表-2 最大耐力および最大導入トルク

試験体	導入トルク(Nm)
D-M20 8d (改)	719 以上
D-M20 8d (レ)	470
O-M20 8d (レ)	708 以上
C-M20 8d (レ)	691 以上

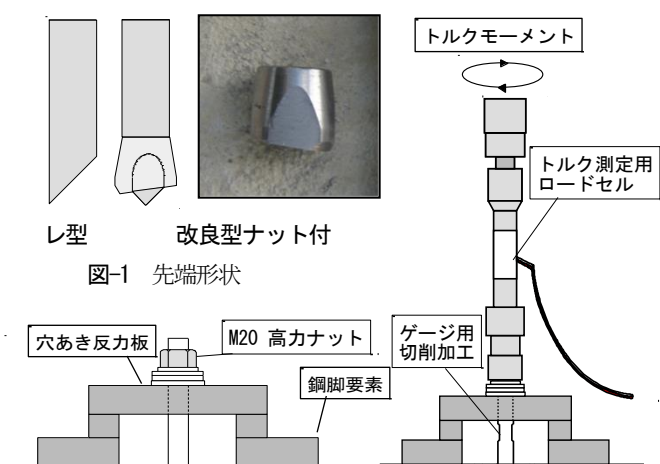


図-2 試験体の一例

図-3 載荷時のセットアップ



D-M20 8d(レ)

D-M20 8d(改)

図-4 D-M20 8d(レ)：付着破壊
D-M20 8d(改)：コーン破壊

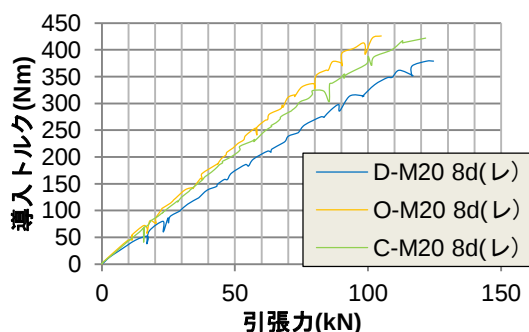


図-5 導入トルク—引張力関係

がっていることが考えられる。また、無機1と樹脂の接着材に関しては接着材の強度が無機2と比べ高く、先端形状がレ型でも締め付けトルクを約700Nm以上までかけることが出来る。

(4) 導入トルクと引張力

アンカー鋼棒を打設する前に弾性内引張試験を行い、引張力と縦ひずみの校正係数を得ることで、導入トルクから得られる縦ひずみから弾性範囲内での引張力を導出することが出来る。

図-5に導入トルク—引張力の関係を示す。線形近似可能な曲線であり、勾配にばらつきはあるが、使用接着材に因らず弾性範囲内においては導入トルクからおよその引張力を導出することが可能であることがわかる。その精度は約10%である。

(5) 導入トルクと鋼棒トルク

図-6に導入トルク—鋼棒トルクの関係を示す。(4)と同様に、導入トルク—鋼棒トルクは線形近似可能な曲線であり、接着材に因らず、近い勾配を取ることから、弾性範囲内においては、導入トルクからおよその鋼棒トルクを導出することが可能である。その精度は約10%である。図より、鋼棒トルクは導入トルクの約50-60%の値で比例的に伝達されていることがわかる。

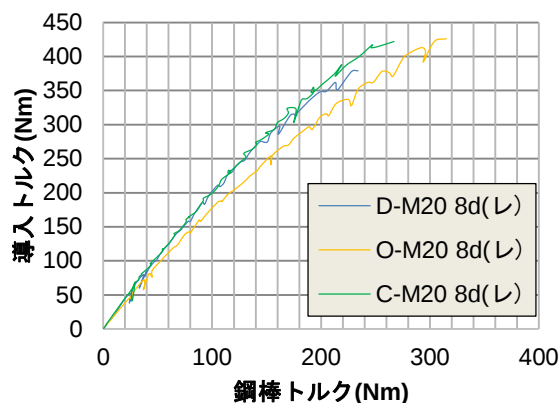


図-6 導入トルク—鋼棒トルク関係



図-7 試験体の一例



図-8 载荷の様子

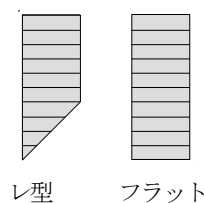


図-9 先端形状

3. トルク载荷実験

本実験ではアンカーに対して、トルクのみを作用させた際の力学的性状、破壊性状を考察し、鋼棒の表面形状がどのように抵抗トルク強度へ影響するかを明らかにし、さらにその強度評価法について検討する。

(1) 試験体および実験方法

図-7に試験体の一例を、図-8に载荷の様子を示す。アンカー頭部に 15.8×15.8 (mm)または 16.8×16.8 (mm)の加工をし、トルク载荷用の治具、トルク測定用ロードセルそしてアームバーを取り付ける。そして前節の「ナット回転による引抜実験」と同様に、バーの両端からばねばかりを用いて均等の荷重を作用させることでトルクモーメントを直接アンカー鋼棒に作用させた。また、ベースコンクリートの寸法は $W1200 \times D800 \times H400$ (mm)で、圧縮強度は 26.64 (N/mm²)であり、それぞれの鋼棒の機械的性質は表-3に示す。実験変数は以下の通りである。

- 1) 接着材には無機系接着材を2種類、樹脂系接着材1種類（無機1、無機2、樹脂と表記）の計3種類
- 2) 表面形状には丸鋼(R20 S45C)、ネジ鋼棒(M20 SNB7),

表-3 鋼棒の機械的性質

鋼棒	断面積 (mm ²)	降伏応力 (N/mm ²)	降伏せん断応力 (N/mm ²)
R20 S45C	314	690	398
M20 SNB7	235	860	497
D19 SD345	286	474	274

異形鉄筋 (D19 SD345) の3種類

- 3) 先端形状にはレ型, フラットの2種類 (図-9参照)
- 4) 有効埋込み深さには4d (80mm), 2.5d (50mm) の2種類
各組合わせに対して複数の試験体を準備し、合計61体を試験した。

(2) 測定項目

本実験で測定した値は以下の通りである。

- 1) 導入トルクモーメント (Nm)
- 2) アンカー鋼棒の回転角 (degree) は以下の方法で測定した。アンカーに円盤を取り付けワイヤーを巻き, S字フックでリール変位計と接続する。アンカーが回転し, リールが巻き取られる量を回転角に換算する。

(3) 降伏トルクモーメント

円形断面にトルクを作用させた際に生じるせん断応力は以下の式で導出される。

$$\tau = \frac{2Mt}{\pi R^3} \quad (1)$$

τ : せん断応力 (N/mm²)

Mt : 降伏トルクモーメント (Nm)

R : 円形断面の半径 (mm)

(1)式により各々の鋼棒に対して降伏トルクモーメントを導出したものを, 表-4に示す。

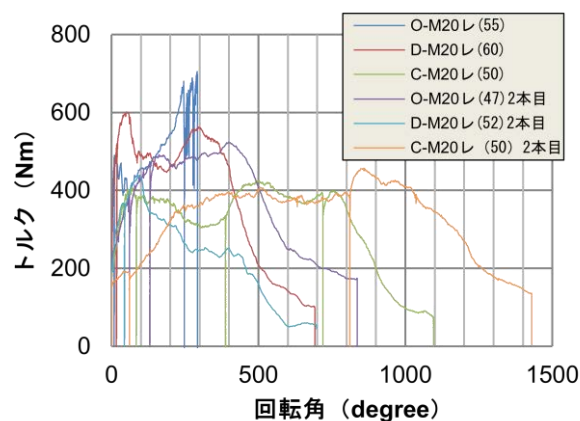
(4) トルク—回転角とすべり出し荷重

トルク—回転角の一例を図-10, 図-11に示す。全体的傾向として, 载荷当初は無回転の状態で荷重が上昇した後, ある荷重で回転し始め, 最大荷重に至って降下する。図-10より同一形状のアンカー鋼棒でも, 用いた接着材によりトルク—回転角の曲線は大きく異なることがわかる。また, 同一形状で同一接着材を用いても, 結果にばらつきが大きいことが分かる。異形鋼棒の場合に見られる最大荷重後の急激な荷重低下は, 鋼棒降伏後に四角に加工した端部のねじり破断に至ったことによる。

また, 载荷開始からある荷重に到達し, 荷重が一定のまま, 回転し始める際の荷重を便宜上「すべり出し荷重」と定義する。(図-12参照)

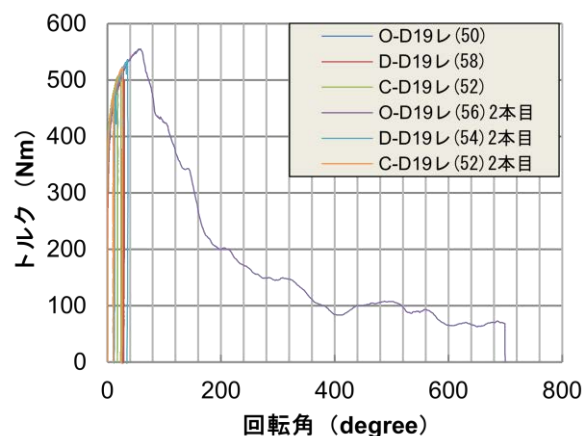
表-4 降伏トルクモーメント

鋼棒	降伏トルクモーメント (Nm)
R20 S45C	625
M20 SNB7	504
D19 SD345	375



M20 ネジ鋼棒 (Le=2.5D 先端レ型)

図-10 トルク—回転角関係



D19 異形鋼棒 (Le=2.5D 先端レ型)

図-11 トルク—回転角関係

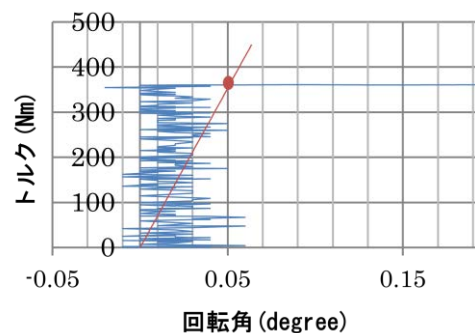


図-12 すべり出し荷重

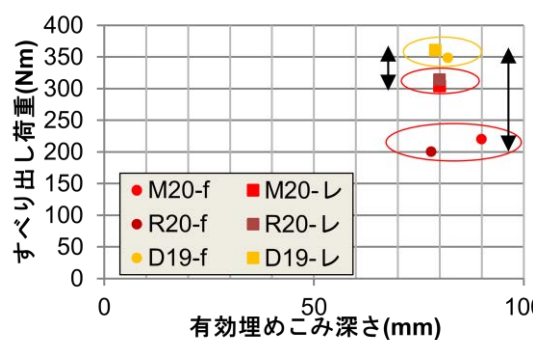


図-13 すべり出し荷重—有効埋め込み深さ関係

(5) すべり出し荷重の評価法

接着材に無機 1 を用い、有効埋め込み深さ 4d(80mm)とした際のすべり出し荷重をプロットしたものを図-13に示す。ネジ切り鋼棒と丸鋼棒のすべり出し荷重はほぼ同等であるが、異形鋼棒では節の存在により、ネジ切り鋼棒や丸鋼棒と比べてすべり出し荷重が大きいことがわかる。

図-14、図-15には接着材に無機 2 を用いた際の異形鋼棒、ネジ鋼棒についてのすべり出し荷重—有効埋め込み深さの関係を示す。先端形状がレ型(レ)とフラット(f)に対して線形回帰した 2 つの直線がほぼ平行であることから、先端部の影響は埋め込み深さに関係なくほぼ一定となる傾向が見られた。

そこで、異形鋼棒とネジ鋼棒について、今回用いた 3 種類の接着材に対して、すべり出し荷重に対する実用的な強度評価式を得るため、先端形状レ型に対する実験データを最小二乗法により線形回帰し、更に、ばらつきを考慮して一番強度の低いデータを安全側に評価するよう切片の値を調整し、次式で求めた。それらの結果を表-5に、得られた強度評価式に実験値をプロットし、比較したものを図-16に示す。

$$Mty = \alpha_i Le + \beta Li \quad (2)$$

Mty：すべり出し荷重の下限値(Nm)

Le：有効埋め込み深さ(mm)

$\alpha_i, \beta Li$ ：接着材と鋼棒の表面形状に依存する係数

(6) 必要埋め込み深さ

鋼棒にトルクのみを作用させた時に、鋼棒が降伏するまですべり出さない為に必要な埋め込み深さをここで「必要埋め込み深さ」と定義する。

M20の無機2レ型のすべり出し荷重を実際の有効埋め込み深さでプロットしたものを図-17に示す。図中の直線は表-5で示したものであり、この直線が(3)で導出した降伏トルクモーメントの値に達する時の埋め込み深さを必要埋め込み深さと定める。

表-5 すべり出し荷重評価式

	無機 1	無機 2	樹脂
ネジ鋼棒	$Mty=2.47*Le+76$	$Mty=1.26*Le+35$	$Mty=0.40*Le+97$
異形鋼棒	$Mty=2.89*Le+73$	$Mty=1.18*Le+21$	$Mty=2.85*Le+80$

表-6 必要埋め込み深さ

(mm)	無機 1	無機 2	樹脂
ネジ鋼棒	173	370	1002
丸鋼棒	25	81	99
異形鋼棒	105	300	104

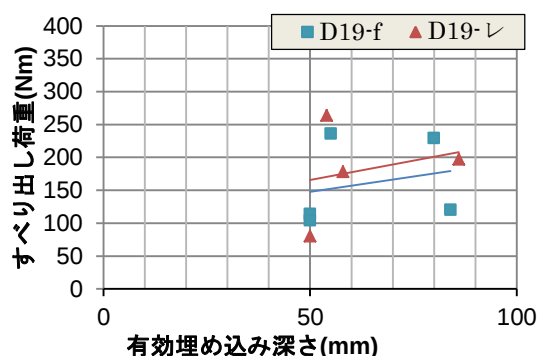


図-14：異形鋼棒

すべり出し荷重—有効埋め込み深さ関係

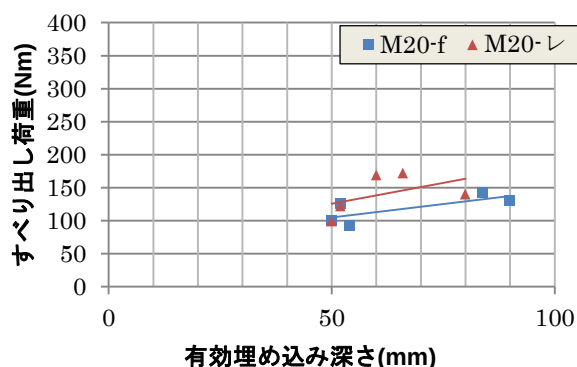


図-15 ネジ鋼棒：

すべり出し荷重—有効埋め込み深さ関係

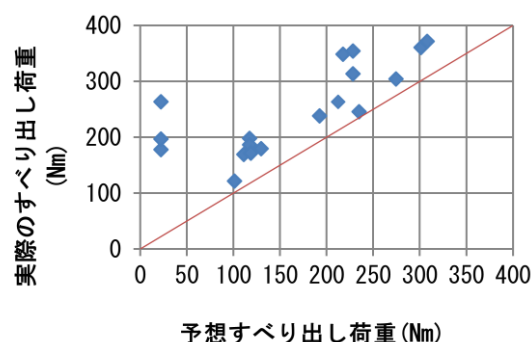


図-16 強度評価式と実験値の比較

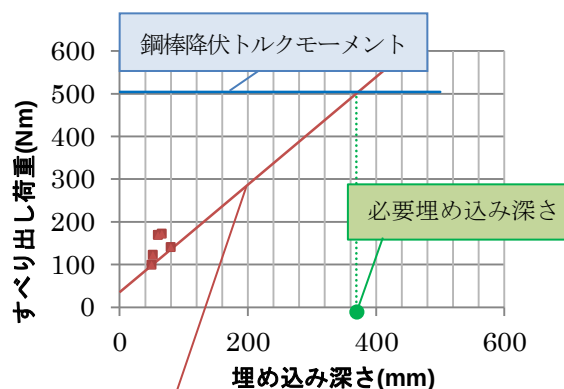


図-17 必要埋め込み深さの評価手順

以上の操作から得られた必要埋め込み深さを、表-6に示す。

4. 締め付けトルク導入後のせん断実験

本実験はアンカーに、高力ナットを介した締め付けトルクによる、鋼要素とRC要素の界面に支圧力を導入し、摩擦力によるせん断ずれ剛性の改善を検討し、アンカーに締め付けトルクを作用させた場合の活用方法を提案する。

(1) 試験体および実験方法

表-7に試験体の一覧を、図-18に試験体図を、図-19に載荷装置を示す。アンカー鋼棒にはSNB7(降伏応力806N/mm², 引張強さ963(N/mm²), ヤング係数 1.94×10^5 (N/mm²)), 軸径M20のネジ切り鋼棒を用い、有効埋め込み深さを8d(160mm)にし、接着材は前節の2,3の実験で使用した接着材の中で最も付着強度の弱い接着材であった「無機2」を採用する。アンカー鋼棒先端には改良型ナットを取り付けた。また、荷重は上部に平行移動装置を取り付けた載荷梁に固定した治具を介して、オイルジャッキによる荷重をアンカーに伝達する一方向繰り返し載荷とする。またアンカーを打設するベースコンクリートの寸法は、W1000×H800×D400(mm)で、圧縮強度は23.0(N/mm²)である。実験変数は次の通りである。

- 1) 締め付けトルクの値(0Nm, 400Nm, 500Nm)
- 2) 鋼板の種類(平鋼板, 縞鋼板)

(2) 測定項目

当実験で測定する値は以下の通りである。各々の変位計を用いて、二箇所測定し平均値を得たものである。

- 1) コンクリートの水平変位(mm)
- 2) 鋼板の水平変位(mm)
- 3) 治具の水平変位(mm)

(3) 水平荷重—水平変位関係

D-M20 8d(改)-400の水平荷重—変位関係を図-20に示す。コンクリートの水平変位は載荷中に見られなかったため、図中の変位について着目する。(治具—鋼板は鋼板に対する治具の相対変位) 載荷過程において、初めは治具がすべり出すが鋼板は動かないことがわかる。ある荷重に達すると、鋼板—モルタル間、治具—鋼板間は併せてすべり出し、せん断ずれ剛性の低下が確認される。これは、締め付けトルクを作用した全ての試験体において確認された。

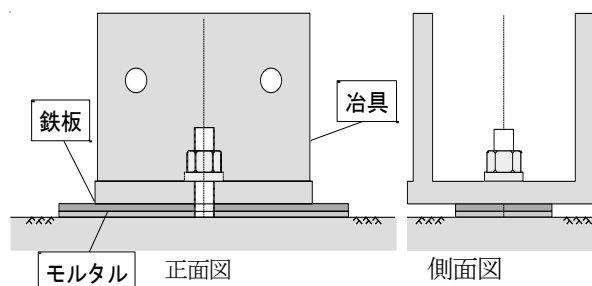


図-18 試験体図



図-19 載荷装置

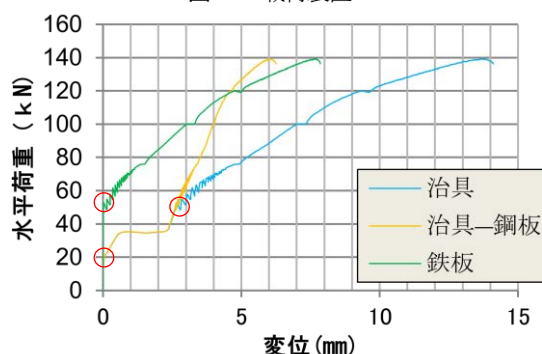


図-20 D-M20 8d(改)-400：水平荷重—水平変位関係

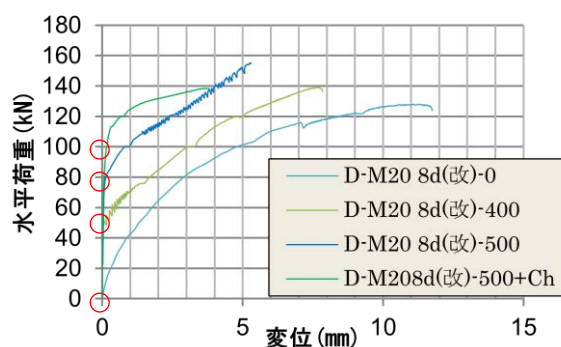


図-21 水平荷重—鋼板の水平変位関係

表-7 試験体一覧

試験体	締め付けトルク (Nm)	プレート
D-M20 8d(改)-0	0	平鋼板
D-M20 8d(改)-400	400	
D-M20 8d(改)-500	500	
D-M20 8d(改)-500+Ch	500	縞鋼板

そこで、せん断ずれ剛性の低下が著しくなる原因である鋼板の変位について着目する。

(4) 鋼板—モルタル面のすべり荷重

水平荷重—鋼板の水平変位関係について図-21 に示す。図から、以下のことが知見される。

- 1) 締め付けトルクを作用させることで、鋼板の水平変位はある荷重（以下、すべり荷重：表-8 参照）に達するまでほとんど変位が確認されない。
- 2) すべり荷重は実験変数によって異なり、締め付けトルク値の上昇、同様のトルク値における、平鋼板から縞鋼板への変更はすべり荷重の上昇に効果が見られた。

また、摩擦力に関する式を以下に示す。

$$F = N \cdot \mu \quad (3)$$

F：摩擦力

N：支圧力

μ ：摩擦係数

上記の式から、すべり荷重の上昇の要因を以下に考察する。

- 1) トルク値の上昇に伴う支圧力の上昇。
 - 2) 縞鋼板による摩擦係数の上昇。
- 1), 2) が鋼板—モルタルの界面において摩擦力を上昇させ、すべり荷重が上昇したと考えられる。

(5) 終局せん断耐力

破壊性状は全て、治具—鋼板間でのアンカー鋼棒の破断であった。終局せん断耐力について表-9 に示す。表-9 から以下の知見が得られる。

- 1) 締め付けトルクを作用させると終局せん断耐力は上昇する。また、締め付けトルク値の上昇に伴い、終局せん断耐力は上昇する。
- 2) 同様のトルク値に対して、平鋼板から縞鋼板に変えると終局せん断耐力が低下した。

(4) の考察と同様に、終局せん断耐力の上昇の要因は、抵抗要素である摩擦力の上昇が考えられるが、相反して 2) のような性状が見られた。これは鋼板とコンクリートの間に敷いていたモルタルが載荷途中で割れ、せん断ずれ剛性が低下した為であると考えられる。（図-22 参照）図-21 において、D-M20 8d(改)-500 と D-M20 8d(改)-500+Ch とを比較し、すべり出し荷重以後は縞鋼板を用いた場合の方が明らかに剛性が低下している。また前述したように、すべり荷重に関しては縞鋼板を用いる方が耐力が大きいことがわかった。このことから、モルタルが割

表-8 すべり荷重

試験体	すべり荷重(kN)
D-M20 8d(改)-0	0
D-M20 8d(改)-400	52.7
D-M208d(改)-500	80.4
D-M20 8d(改)-500+Ch	114

表-9 終局耐力

試験体	終局耐力(kN)
D-M20 8d(改)-0	128
D-M20 8d(改)-400	139
D-M208d(改)-500	155
D-M20 8d(改)-500+Ch	138



D-M20 8d(改)-500

D-M20 8d(改)-500+Ch

図-22 載荷後の敷きモルタル

れたのは締め付けトルクの作用時やすべり出し荷重以前では無く、すべり出し荷重以後であると考えられる。

(6) 活用へ向けて

本実験から、締め付けトルクにより生じる摩擦力を利用した、せん断ずれ剛性の改善が確認された。しかし、実験データは少なく、ばらつきを考慮して今後も数多くのデータを蓄積する必要がある。また複数本のアンカーを打設した場合の力学的性状や破壊性状を確認する必要もある。

5. まとめ

本研究の結果、ナット回転による引抜実験、トルク載荷実験、せん断実験に対して、それぞれ以下のことを結論および知見として示す。

(1) ナット回転による引抜実験

- ・ナットを介して作用させたトルクと、鋼棒に伝達される引張力、トルクの関係は線形式で近似することが可能である。
- ・鋼棒に伝達されたトルクは、ナットに作用したトルクの約 50-60%であることが確認された。

(2) トルク載荷実験

- ・トルク作用を受けるアンカーのすべり出し荷重について、安全側となる強度評価法を提示すると共に、必要埋め込み深さの推定法を提示した。
- ・すべり出し荷重は、ネジ鋼棒では丸鋼棒とほぼ同様、異形鋼棒では丸鋼棒やネジ鋼棒に比べて大きくなった。
- ・先端形状の影響は埋め込み深さに関係なくほぼ一定となる傾向が見られた。

(3) 締め付けトルク導入後のせん断実験

- ・ナット回転による締め付けトルクの導入により、摩擦力が抵抗要素となり、せん断ずれ剛性の改善が見られた。
- ・鋼板のすべり出し荷重およびアンカーの終局せん断耐力は、ナット回転による締め付けトルク値を上げることにより、支圧力の上昇に伴う、界面の摩擦効果により上昇した。
- ・同様の締め付けトルク値で平鋼板を縞鋼板に変えた場合は、鋼板とモルタル界面の粗度の上昇に伴う、すべり出

し荷重の上昇は確認された。しかし、終局せん断耐力は低下し、鋼板がすべり出す以後のずれ剛性も低下した。これはすべり出し荷重到達以後に RC 要素と鋼板の間に敷いたモルタルが割れた為だと考えられる。

謝辞：本研究の遂行に当っては、実験材料等の提供を岡部株式会社技術開発部にご協力を頂いた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説
- 2) 大谷恭弘・楠本達平：平成 25 年度日本建築学会近畿支部研究発表論文「トルクモーメントを受ける接着系あと施工アンカーの強度評価に関する実験的研究」

STUDY ON MECHANICAL BEHAVIOR AND APPLICATION OF POST-INSTALLED ADHESIVE ANCHOR SUBJECTED TO TORQUE MOMENT

Yasuhiro OHTANI and Takahiro NOZAKI

This paper presents that mechanical behavior and failure behavior of post-installed adhesive anchor torquing the anchor by using high tensile bolt and torquing the anchor directly.

The test results of the former have been discussed torque moment acting the anchor estimate stresses, which are tension and torque moment transferring the anchor, under elastic-region. The test results of the latter have been presented strength evaluation method using sliding start load and evaluation method of required depth of the anchor.

Based on the experimental results, this paper presents application of the anchor torquing by using high tensile. The application is improvement of shear rigidity and the method is action of frictional force between steel material and concrete material by pressure. And it was shown by shear test of the anchor.