

低強度コンクリートに施工した高せん断耐力アンカーの性状に関する研究

低強度の建物でも壊さずに補強する方途を模索して

成瀬 忠^{*1}・今野 修^{*2}・戸辺 勉^{*3}・荒金 直樹^{*4}・今村 輝武^{*1}・宮澤 茂^{*2}

Study on Performances of Shear and Pull-out Forces of High Shear Resistant Post Installed Anchor with Low Strength Concrete.

To search for the way to rehabilitate the building made of low strength concrete …

Tadashi NARUSE, Shu KONNO, Tsutomu TOBE, Naoki ARAGANE, Terutake IMAMURA, Shigeru MIYAZAWA



写真-1 せん断実験状況

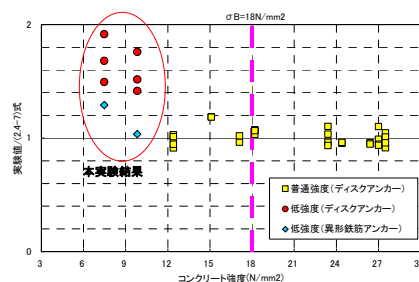


図-1 せん断実験結果



写真-2 せん断実験破壊状況



写真-3 引抜き実験状況

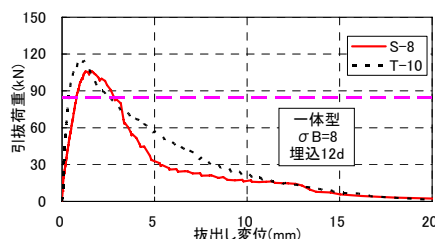


図-2 引抜き実験結果

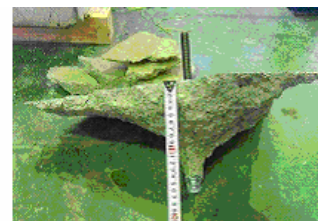


写真-4 引抜き実験破壊状況

研究の目的

既存建築物を外側から耐震補強する「MaSTER FRAME 構法」は、あと施工アンカーに高いせん断剛性、強度を有する「ディスク型アンカー」を使用する。(財)日本建築総合試験所で取得した建築技術性能証明の範囲は、普通コンクリートで 13.5N/mm^2 以上、軽量コンクリートで 15N/mm^2 以上であるが、既存不適格の建築物にはこの強度を下回るものも少なくない。前報ではディスク型アンカーのせん断および引抜き強度を把握し耐力評価に関して報告した。本報は 8N/mm^2 の低強度コンクリートをを用いた場合のせん断および引抜き性能を把握するために実施した構造実験の概要と結果および耐力評価について報告する。

技術の説明

ディスク型アンカーおよび比較のための異形鉄筋型あと施工アンカーを低強度コンクリートで製作したブロックに横向きに接着工法で施工した。これらのアンカーに打継ぎ面と水平方向のせん断力(写真-1)、または垂直方向の引抜き力(写真-3)を単調に作用させてせん断耐力、引抜き耐力を確認した。

主な結論

コンクリート強度 $7.48\sim 10.2\text{N/mm}^2$ の低強度コンクリートに、ディスク型アンカーおよび異形鉄筋型あと施工アンカーを横向きに施工したのち実験を実施した。せん断、引抜きの耐力式は 13.5N/mm^2 以上に使用する耐力式、また、異形鉄筋型あと施工アンカーは建防協の「外側耐震改修マニュアル」の耐力式を用いて評価した。せん断(図-1)、引抜き耐力(図-2)ともに耐力評価式より実験値がすべて大きな値となっていることを確認した。

*1 本店 建築事業本部 建築技術部 技術開発グループ

*3 サンコーテクノ(株) 技術開発部

*2 本店 建築事業本部 リニューアル事業部 営業第1グループ

*4 東洋建設(株) 美浦研究所

低強度コンクリートに施工した高せん断耐力アンカーの せん断・引抜き性状に関する研究

成瀬 忠 * 1 今野 修 * 2

戸辺 勉 * 3 荒金直樹 * 4

今村輝武 * 1 宮澤 茂 * 2

要 旨

外付け RC フレーム耐震補強「MaSTER FRAME 構法」は、あと施工アンカーに高せん断耐力アンカー「ディスク型アンカー」を用いることで、アンカー数量の低減、既存躯体目粗し省略、および補強架構のプレキャスト化による現場工期短縮を優位性に掲げ、2010 年に(財)日本建築総合試験所より建築技術性能証明を取得した。本研究は、MaSTER FRAME 構法のコンクリート強度の下限値である 13.5N/mm^2 を下回るコンクリートにディスク型アンカーを施工した場合のせん断強度、引抜き強度を把握することを目的とする。ディスク型アンカーを既存躯体を模擬したコンクリートブロックに横向き施工した試験体を用いてせん断実験、引抜き実験を実施した。実験の結果からコンクリート強度 13.5N/mm^2 以上を適用範囲とするディスク型アンカー強度式は、実験結果をかなり安全側に評価する。また、せん断実験後のディスク型アンカーの引抜き実験から、残存引抜き耐力は 80%以上であった。

キーワード 耐震補強／あと施工アンカー／せん断強度／引抜き強度／構造実験

目 次

- | | |
|-----------|------------|
| 1. はじめに | 4. 引抜き実験 |
| 2. 室内試験練り | 5. 残存引抜き実験 |
| 3. せん断実験 | 6. おわりに |

Study on Performances of Shear and Pull-out Forces of High Shear Resistant Post Installed Anchor with Low Strength Concrete

NARUSE Tadashi	KONNO Shu
TOBE Tsutomu	ARAGANE Naoki
IMAMURA Terutake	MIYAZAWA Shigeru

Synopsis:

The Rehabilitation method of exterior R/C frame, "MaSTER FRAME" utilizes the high shear strength anchor, "Disk-type-anchor" in order to reduce anchors, save chipping, and shorten the site term by realizing pre-cast frame. The effect of Master Frame has been confirmed by GBRC as "Assessment of Technology for Building Construction", in 2010. The target of the study is to adopt Disk-type-anchor to lower strength concrete than 13.5N/mm^2 . The result of shear experiment and pull-out experiment shows that the on-going strength formula can evaluate the shear strength and pull-out strength safely. Adding to those results, the remaining shear strengths of shear experiment specimens have pull-out strengths larger than 80% of initial state.

* 1 本店 建築事業本部 建築技術部 技術開発グループ

* 2 本店 建築事業本部 リニューアル事業部 営業第 1 グループ

* 3 サンコーテクノ(株) 技術開発部

* 4 東洋建設(株) 美浦研究所

1. はじめに

1.1 研究目的

中低層 RC 造, SRC 造の既存建物の強度型耐震補強構法として, 2009 年に外付け RC フレーム耐震補強構法「MaSTER FRAME 構法」を開発し, 2010 年 3 月に(財)日本建築総合試験所より建築技術性能証明を取得した。図-1 は本構法による補強外観イメージである。本構法は, サンコーテクノ(株)製の高せん断耐力アンカー「ディスク型アンカー」を使用することにより, アンカー数量低減, 既存躯体の目粗し省略, さらにプレキャスト工法を実現することで現場工期の短縮を可能とする。MaSTER FRAME 構法の適用範囲は, 既存躯体コンクリート強度が普通コンクリートで 13.5N/mm^2 以上, 軽量コンクリートで 15N/mm^2 以上である。一方, 建築基準法施行令で定める鉄筋コンクリート造に使用するコンクリートの材令 4 週での圧縮強度の規定は, 昭和 25 年に初めて 90kg/cm^2 以上と定められ, 昭和 34 年に 120kg/cm^2 に改訂され現在に至っている。また, 日本建築学会では, 構造計算規準類に昭和 34 年に初めて 135kg/cm^2 以上と定めて以降, 昭和時代はそのまま維持されている(1988 年または 1991 年に 150kg/cm^2 に改訂, 現行は 18N/mm^2)。しかし, 現実には学会規準を下回るコンクリート強度の既存建物が存在し, 建替えができずに補強するしかないケースがある。

本研究は, 13.5N/mm^2 を下回り 9N/mm^2 程度までの低強度コンクリートにディスク型アンカーを施工した場合のせん断強度, 引張強度を把握することを目的とする。



図-1 MaSTER FRAME 構法による補強イメージ

1.2 ディスク型アンカーの概要

図-2 にディスク型アンカーの形状を示す。ディスク型アンカーは, 既存躯体と補強躯体の境界面に鋼製の円筒(「ディスク」と称す)を設け, そのディスクとコンクリートとの圧縮力を主たる抵抗機構として接合面に生じるせん断力に抵抗する。一体型と分離型の 2 種類ある。一体型はディスク部とアンカー部を一体で製作し, ディスクの上面側にメネジ加工を施している(a)。一方, 分

離型はネジバー自体をアンカーボルトとして使用する。ディスクの中心の貫通孔にネジバーを通し, ナットでディスクを既存躯体に締付けて固定する(b)。両タイプとも, 2 液混合の有機系接着剤を用いて, ディスク型アンカーと既存躯体を固定する。

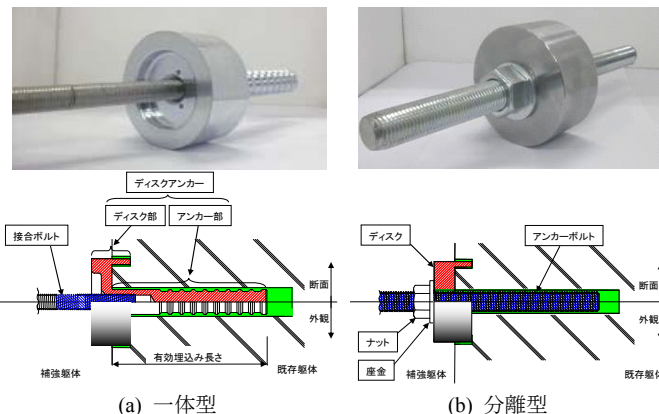


図-2 ディスク型アンカー形状

2. 室内試験練り

2.1 目的

試験体に用いるコンクリート強度は 8N/mm^2 , 11N/mm^2 の 2 水準を計画した。コンクリート強度が計画した値より低くなる原因は調合ミス, 加水を筆頭に種々考えられるが, 本研究では石灰石の粉体を主成分とするタンカルを擬似セメントとして混合することにより, セメントが不良品であったことを想定している。ただし, 粉体量は所定量あるため材料分離が起こらず施工性には影響がほとんどない。このタンカルを用いて高い精度で目標とするコンクリート強度を発現させるために, 室内試験練りを実施した。

2.2 調合条件

表-1 に試験変数一覧を示す。コンクリートは普通コンクリートとし, 単位水量は 175kg/m^3 , 水粉体比は 65.0% で一定とする。粉体量はセメントとタンカルを足し合わせた値である。試験変数は, 粉体量を一定のままに, セメントとタンカルの比率を変えて実質の水/セメント比を 100, 125, 165, 230% の 4 水準を実施した。また, スランプは 18cm, 空気量は 4.5% とした。

使用材料は, 構造実験の実験時計画材令が 14 日であることから, セメントは早強ポルトランドセメントとし, 骨材は生コン工場が通常使用しているものを使用した。

表-1 室内試験練り変数一覧

調合名		No.100	No.125	No.165	No.230
調合条件	単位水量 (kg/m^3)	175			
	水セメント比 (質量%)	100	125	165	230
	水粉体比: 水/(セメント+タンカル) (質量%)	65.0			

2.3 試験結果

表-2 に使用材料、表-3 に 1m³ に換算した調合結果、表-4 にフレッシュコンクリート性状試験結果、図-3 に材令と圧縮強度の関係を示す。フレッシュコンクリートは調合の違いによる差は見られず、すべて材料分離の傾向は全くなく、施工性の良い性状であった。これはタンカルとセメントが同様に粉体として挙動していることによると考えられる。また、圧縮強度の発現状況は、セメント量が多いほど大きくなっている。図-4 のセメント／水比と圧縮強度関係から、タンカルを無視したセメント／水比と圧縮強度の関係は比例することを確認した。

表-2 使用材料

水	地下水
セメント	住友大阪セメント社製 早強ボルトランドセメント 密度3.13
混和材	タンカル 密度2.71
細骨材	茨城県神栖市太田産・(砂) 表乾密度2.60
	栃木県佐野市会沢町産・(砕砂) 表乾密度3.20
粗骨材	茨城県空間市産・(硬質砂岩) 実績率60% 表乾密度2.65
	栃木県佐野市会沢町産・(石灰石) 実績率60% 表乾密度2.70
混和剤	AE減水剤 (標準形1種) ポリス78S(T)

表-3 調合結果

No.100													
目標材令	目標スランプ	目標空気量	細骨材率 s/a	単位水量	W/P	W/C	単位質量 kg/m ³						
週	cm	%	%	kg/m ³	%	%	セメント	石粉	山砂	砕砂	砕石	砕石	混和剤
2	18	4.5	48.4	175	65	100	175	95	611	268	469	478	2.7

No.125													
目標材令	目標スランプ	目標空気量	細骨材率 s/a	単位水量	W/P	W/C	単位質量 kg/m ³						
週	cm	%	%	kg/m ³	%	%	セメント	石粉	山砂	砕砂	砕石	砕石	混和剤
2	18	4.5	48.5	175	65	125	140	130	606	268	469	478	2.7

No.165													
目標材令	目標スランプ	目標空気量	細骨材率 s/a	単位水量	W/P	W/C	単位質量 kg/m ³						
週	cm	%	%	kg/m ³	%	%	セメント	石粉	山砂	砕砂	砕石	砕石	混和剤
2	18	4.5	48.6	175	65	165	106	163	603	268	469	478	2.7

No.230													
目標材令	目標スランプ	目標空気量	細骨材率 s/a	単位水量	W/P	W/C	単位質量 kg/m ³						
週	cm	%	%	kg/m ³	%	%	セメント	石粉	山砂	砕砂	砕石	砕石	混和剤
2	18	4.5	48.2	175	65	230	76	194	598	265	469	478	2.7

表-4 フレッシュコンクリート性状試験結果

No.	スランプ (cm)	フロー (mm)	空気量 (%)	コンクリート 温度(°)	室温 (°)	均一性 (分離状況)
100	19.5	325 × 320	4.6	14	18	性状良好
125	19.0	315 × 305	4.7	14	18	性状良好
165	18.5	325 × 320	4.4	14	20	性状良好
230	19.0	330 × 320	4.3	14	19	性状良好

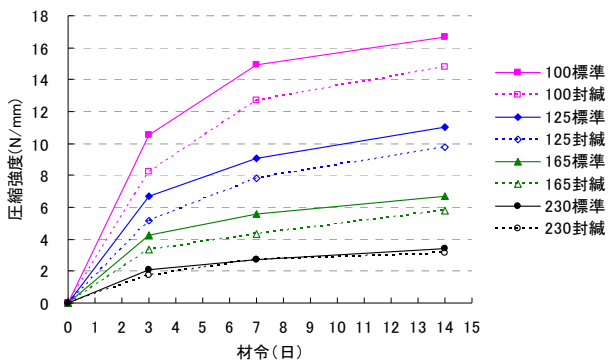


図-3 材令－圧縮強度関係

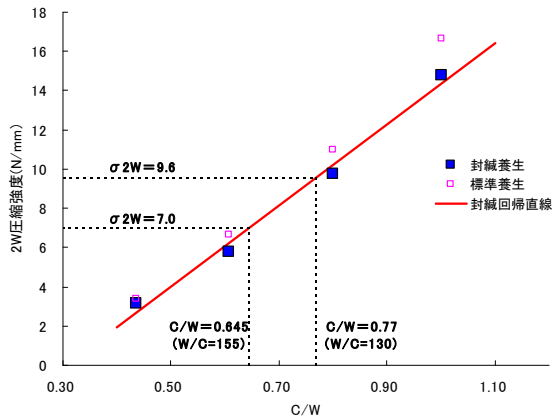


図-4 C/W－圧縮強度関係

2.4 まとめ

室内試験練りの結果から、タンカルを不良セメント成分と見なして混入することにより、フレッシュコンクリート性状、ブリージング水量にはセメントと類似した挙動を示し、圧縮強度にはほとんど寄与しないことを確認した。図-4 に C/W と圧縮強度関係を示す。この試験練り結果に、積算温度の実績と試験体の予想積算温度との差を鑑みて、試験体の調合を目標強度 8N/mm² を W/C=155%、目標強度 11N/mm² を W/C=130%と決定した。

3. せん断実験

3.1 目的

単体のディスク型アンカーのせん断剛性、耐力を把握し、現行のせん断強度式との関係を確認する。また、一般的な異形鉄筋型のあと施工アンカーを同じ低強度コンクリートに施工した場合のせん断性状と比較する。

3.2 試験体

既存躯体を想定したコンクリートブロック（縦 1,200×横 1,200×高さ 500mm）の打設時の底面にアンカーを施工する。穿孔は下向き、アンカー施工は横向きに施工した。コンクリートブロックは、8N/mm² を 2 体、11N/mm² を 2 体の計 4 体製作し、1 体につきディスク型アンカーを 4 箇所設置した。せん断実験の試験体諸元を表-5 に示す。

ブロックのコンクリート強度を F_c、コンクリート表面からアンカー先端までの距離を埋込み長として表している。また、試験体形状を図-5 に示す。

表-5 せん断実験変数一覧

No.	S-8*	S-9*	S-10	S-11	S-12*	S-13*	S-14*	S-15
Fe(N/mm ²)	8				11			
アンカー種類	一体型		分離型	異形鉄筋	一体型		分離型	異形鉄筋
アンカー径 (材質)	M16 (SNB7)		M22 (SS400)	D19 (SD345)	M16 (SNB7)		M22 (SS400)	D19 (SD345)
埋込み長 (mm)	192	112	220	190	192	160	154	190
	12d	7d	10d	10d	12d	10d	7d	10d

*：せん断実験後、残存引抜き耐力を確認する試験体

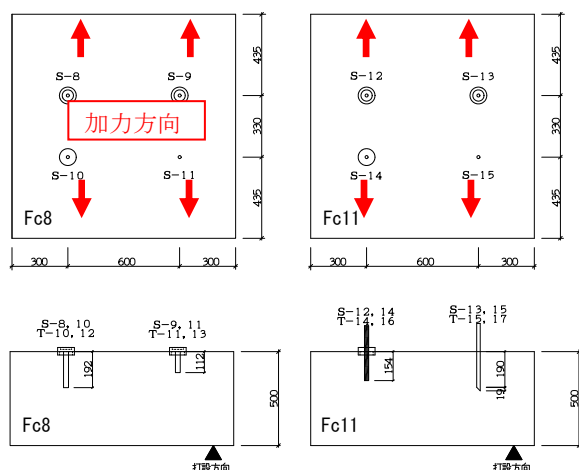


図-5 試験体形状

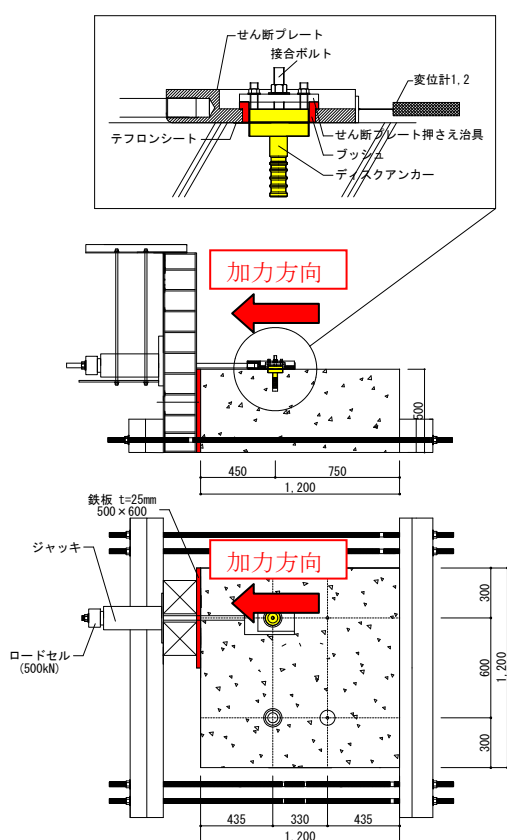


図-6 せん断実験加力装置図

3.3 加力方法および計測方法

図-6 に加力装置を示す。加力は鋼製のせん断プレートを用いた。ディスク側面とせん断プレートの隙間に焼入金物（プッシュ）を挿入し、ディスク側面がプッシュと接触するようにした。また、せん断プレート、コンクリートとの間に厚さ 1mm のテフロンシートを挟み、摩擦力が作用しないようにした。加力は、せん断プレートにφ30mm の PC 鋼棒をネジ接合し、センターホール型の 500kN 油圧ジャッキを用いて、図-6 に示すように水平方向外向きに一方向単調加力した。せん断力は、センター

ホール型ロードセルにより計測し、すべり量は、せん断プレートの加力方向と反対側の水平 2 箇所の変位の平均値とした。支圧反力用に厚さ 25mm の鉄板を設置した。せん断実験は水平変位 10mm まで载荷した。

3.4 材料試験結果

表-6 にアンカー筋の引張試験結果、表-7 にコンクリートの材料試験結果を示す。

表-6 アンカー筋の引張試験結果

鉄筋径 (材質)	使用箇所	降伏点 σ_{sy} (N/mm^2)	引張強度 σ_{su} (N/mm^2)	降伏ひずみ度 ϵ_{sy} ($\times 10^{-3}$)	ヤング係数 E_s (kN/mm^2)
M16 (SNB7)★	一体型ボルト	733	905	6070	164
M22 (SNB7)★	分離型ボルト(引抜)	737	934	6120	171
M22 (SS400)	分離型ボルト(せん断)	384	475	4350	178
D19 (SD345)	異形鉄筋	480	581	27220	126

★降伏点は0.2%offset法による

表-7 コンクリートの材料試験結果

	試験 種類	養生	材令 (日)	見掛け比重 ρ	圧縮強度 σ_B (N/mm^2)	圧縮強度時 ひずみ度 $\epsilon_{cu}(\times 10^{-3})$	ヤング係数 E_c (kN/mm^2)	ポアソン比 ν	割裂強度 σ_t (N/mm^2)
Fc8	せん断	現場封蔵	14日	2.29	7.48	1330	19.5	0.222	1.60
Fc11	せん断	現場封蔵	14日	2.28	9.83	1310	20.2	0.170	1.90
Fc8	引抜き	現場封蔵	15日	2.29	7.77	1330	19.5	0.214	1.50
Fc11	引抜き	現場封蔵	15日	2.28	10.15	1340	20.6	0.168	1.88
Fc8	残存引抜き	現場封蔵	18日	2.28	8.65	1330	19.3	0.191	1.36
Fc11	残存引抜き	現場封蔵	18日	2.27	11.08	1440	21.6	0.164	1.84



S-8 実験終了後



S-9 実験終了後



S-10 実験終了後



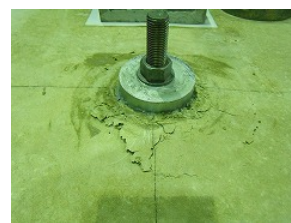
S-11 実験終了後



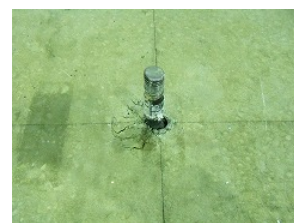
S-12 実験終了後



S-13 実験終了後



S-14 実験終了後



S-15 実験終了後

写真-1 せん断実験破壊性状

3.5 破壊状況

写真-1 に各試験体の最終破壊状況を示す。ディスク型アンカー試験体は、すべてディスクの支圧抵抗面近傍のコンクリートが支圧破壊した。普通強度¹⁾²⁾の破壊状況と比べると支圧破壊したコンクリートの領域がディスクの側面まで広がる傾向が見られた。埋込長さが 7d (d: アンカー径) の一体型ディスクの S-9 試験体は、埋込み長さが 12d の S-8 試験体に比べて、転倒および抜け出しが顕著となっていた。異形鉄筋アンカーは加力方向近傍のコンクリートが支圧破壊したが、コンクリートを割裂くようなひび割れは認められなかった。

3.6 荷重-すべり量関係

荷重-すべり量関係を図-7 に示す。図中の破線は、アンカー耐力の計算値を示す。計算式については 3.7 節で述べる。また、「外側耐震改修マニュアル」に示された外側補強工法の変形のクライテリアの値 2mm を参考として示した。

図よりディスク型アンカーは $\sigma_B = 7.48 \text{ N/mm}^2$ の低強度コンクリートに施工した場合でも、すべり量 2mm になる前に計算値以上の耐力を発揮している。また、埋込み長

さが 7da と短い場合の S-9 試験体を除き最大耐力以降ほとんど耐力低下することなく 10mm まで変形している。

3.7 実験値と計算値の検討

ディスク型アンカーのせん断耐力評価式を(1)式に示す。また、S-11, S-15 の異形鉄筋試験体には建防協式を用いた。

$$Q_{Da} = \alpha \cdot \gamma \cdot \kappa \cdot B \cdot L_e \cdot (T/B)^{0.63} \cdot 8\sigma_B^{0.5} \quad (1) \text{式}$$

$$\alpha = \min(1, \sigma_B / 22.5 + 0.2)$$

$$\kappa = \frac{d_a \cdot \sqrt{\ell_e - L_e}}{285}$$

$$T/B \leq 10$$

α : 低減係数

γ : コンクリート種別係数

(1: 普通コンクリート, 0.9: 軽量コンクリート)

d_a : 既存架構へのアンカー部の直径 (mm)

ℓ_e : アンカー先端までの埋込み深さ (mm)

L_e : ディスクの埋込み深さ (mm)

B : ディスク部外径 $\times \cos 45^\circ$ (mm)

T : 有効部材幅(mm)($\leq 600 \text{ mm}$ かつ片側 300mm 以下)

σ_B : 既存架構のコンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

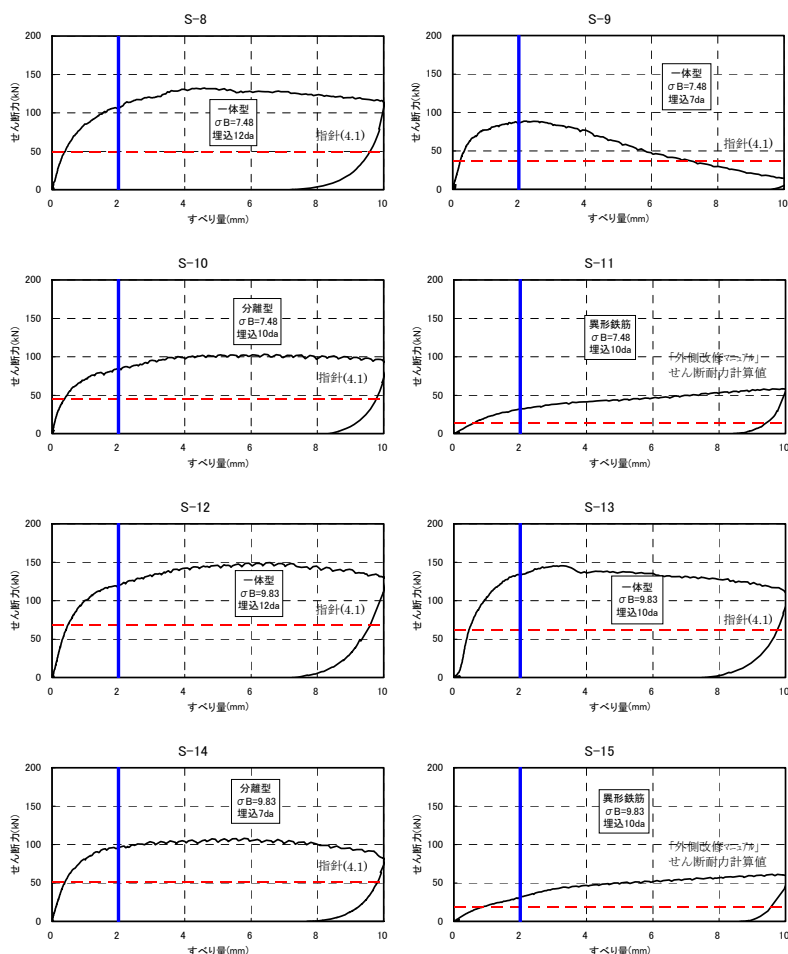


図-7 荷重-すべり量関係

実験結果一覧を表-8, コンクリート強度と耐力評価式の関係を図-8 に示す。最大荷重に対するすべり量 2mm 時の耐力の比は、ディスク型アンカー試験体が 0.79~0.98, 異形鉄筋アンカーが 0.51, 0.55 であった。ディスク型アンカーは低強度コンクリートでもすべり量 2mm で最大耐力の約 8~9 割の耐力を発揮している。また、せん断耐力評価式による計算値に対するすべり量 2mm 時の実験値 ($P_{2\text{mm}}$) の比は、ディスク型アンカー試験体が 1.42~1.92, 異形鉄筋アンカーが 1.04, 1.29 であった。従って、 7.48 N/mm^2 までの低強度の場合も、ディスク型アンカーのせん断耐力式として、(1)式は十分安全側に耐力評価できる式であることを確認した。ただし、建防協指針式のコンクリート強度範囲は 13.5 N/mm^2 以上である。

図-8 は、普通強度における実験結果¹⁾²⁾とあわせて横軸にコンクリート強度、縦軸に実験値/計算値とした。本報の実験結果から、普通強度と比べて低強度では耐力評価式に対して実験値が大きくなる傾向が見られた。

表-8 実験結果一覧

試験体	σ_B	2mm時 P_{2mm}	最大荷重時		P_{2mm}/P_{max}	評価式	
			P_{max}	δ_{max}		Q_{da}	実/計
S-8	7.48	104	132	4.59	0.79	61.9	1.68
S-9	7.48	87.0	88.8	2.24	0.98	45.4	1.92
S-10	7.48	84.4	103	6.40	0.82	56.5	1.49
S-11	7.48	32.0	58.5	9.89	0.55	24.8	1.29
S-12	9.83	120	150	9.89	0.80	84.9	1.42
S-13	9.83	135	145	6.57	0.93	76.7	1.76
S-14	9.83	96.3	108	5.79	0.89	63.5	1.52
S-15	9.83	31.5	61.2	9.60	0.51	30.4	1.04

単位: 強度(N/mm²) 荷重(kN)、変位(mm)

評価式: ディスクアンカー試験体は(1)式、異形鉄筋は建防協指針式

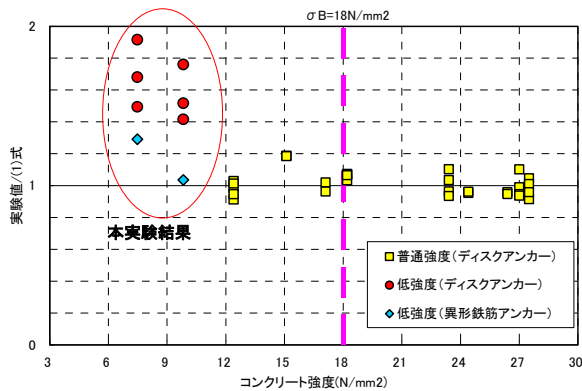


図-8 コンクリート強度と耐力評価式の関係

3.8 セン断実験のまとめ

せん断実験により以下の結論を得た。

- (1) ディスク型アンカーせん断耐力式による計算値に対してディスク型アンカーのすべり量 2mm 時の実験値は、1.42～1.92 倍となり 13.5N/mm² 以上のコンクリートと比較して大きな余裕があることが確認できた。
- (2) 「外側耐震改修マニュアル」によるあと施工アンカーせん断耐力式を用いた計算値に低強度コンクリートの低減係数 β を考慮した値に対し、異形鉄筋アンカーのすべり量 2mm 時の実験値は 1.04, 1.29 倍となっており、せん断耐力式は実験結果を安全側に評価できることが確認できた。

4. 引抜き実験

4.1 目的

単体の一体型、および分離型ディスク型アンカーの引抜き耐力を把握し、現行のディスク型アンカーの引抜き強度式との関係を確認する。また、一般的な異形鉄筋型のあと施工アンカーを同じ低強度コンクリートに施工した場合の引抜き性状と比較する。

4.2 試験体

せん断実験の試験体と同じ寸法の既存躯体を想定したコンクリートブロックに 4 箇所アンカーを配置した。

8N/mm² を 2 体, 11N/mm² を 2 体の計 4 体製作し、アンカーの施工は横向きに施工した。引抜き実験の試験体諸元を表-9 に示す。また、試験体形状を図-9 に示す。

表-9 引抜き実験変数一覧

No.	T-10	T-11	T-12	T-13	T-14	T-15	T-16	T-17
Fe(N/mm ²)	8				11			
アンカー種類	一体型		分離型	異形鉄筋	一体型		分離型	異形鉄筋
アンカー径(材質)	M16 (SNB7)		M22 (SNB7)	D19 (SD345)	M16 (SNB7)		M22 (SNB7)	D19 (SD345)
埋込み長(mm)	192	112	220	190	192	160	154	190
	12d	7d	10d	10d	12d	10d	7d	10d

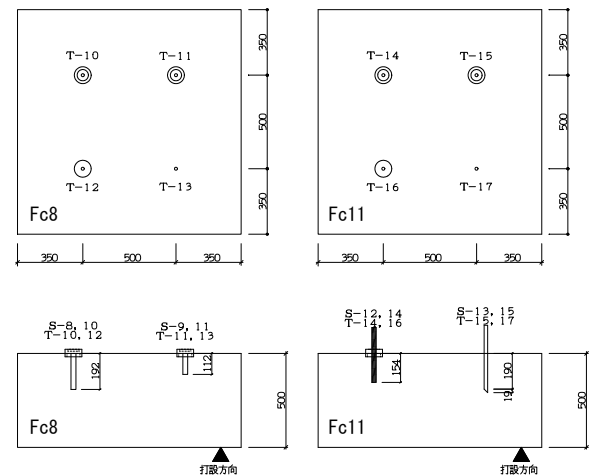


図-9 試験体形状

4.3 加力方法および計測方法

図-10 に引抜き実験の加力装置を示す。アンカー位置からそれぞれ 200mm 離れた位置に反力鉄骨を設置し、アンカーの先端をカップラーを用いて延長し、ジャッキ、ロードセル、球座を介して延長したアンカーの先端をナットで固定した。また、アンカーのコンクリート界面付近での鉛直変位を 2 箇所測定した。

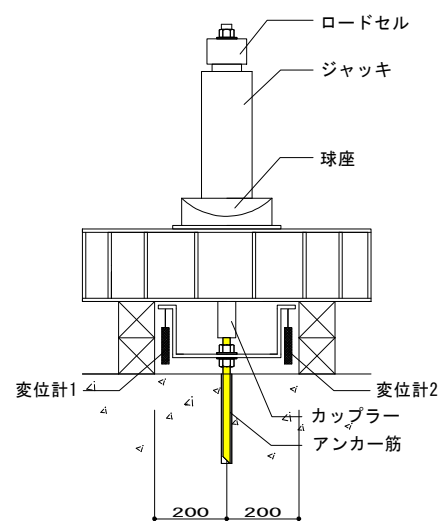


図-10 引抜き実験加力装置図

4.4 破壊状況

写真-2 に各試験体の最終破壊状況を示す．ほとんどの試験体でコーン破壊したが，T-12 および T-17 試験体はコーン破壊後の付着破壊によりコンクリート表面の割裂が生じ，最終的にアンカー近傍のコンクリートが剥離した．

4.5 荷重-抜け出し量関係

実験結果一覧を表-10 に示す．また各試験体の荷重-抜け出し量関係を図-12 に示す．T-17 試験体のみ最大耐力時の抜け出し量が 5.39mm と大きくなっているが，この要因として，写真-2 の破壊性状からコーン破壊後に付着破壊に移行し付着破壊に伴うコンクリートの割裂を反力鉄骨が拘束したために耐力が上昇したと思われる．図中にアンカー耐力の計算値を破線で示した．

表-10 実験結果一覧

試験体名	σ_B (N/mm ²)	埋込長 (mm)	埋込部 軸径(mm)	最大耐力 P _{exp} (kN)	最大耐力時 抜け出し量(mm)
T-10	7.77	192	26	115	1.00
T-11	7.77	112	26	52.7	0.42
T-12	7.77	220	22	133	0.75
T-13	7.77	190	19	114	2.10
T-14	10.15	192	26	135	1.40
T-15	10.15	160	26	103	1.04
T-16	10.15	154	22	96.6	0.90
T-17	10.15	190	19	137	5.39



T-10 破壊状況



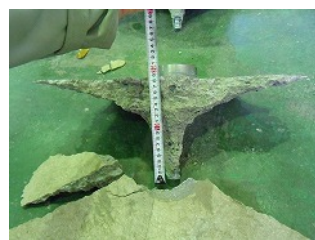
T-11 破壊状況



T-12 破壊状況



T-13 破壊状況



T-14 破壊状況



T-15 破壊状況



T-16 破壊状況



T-17 破壊状況

写真-2 引抜き実験破壊性状

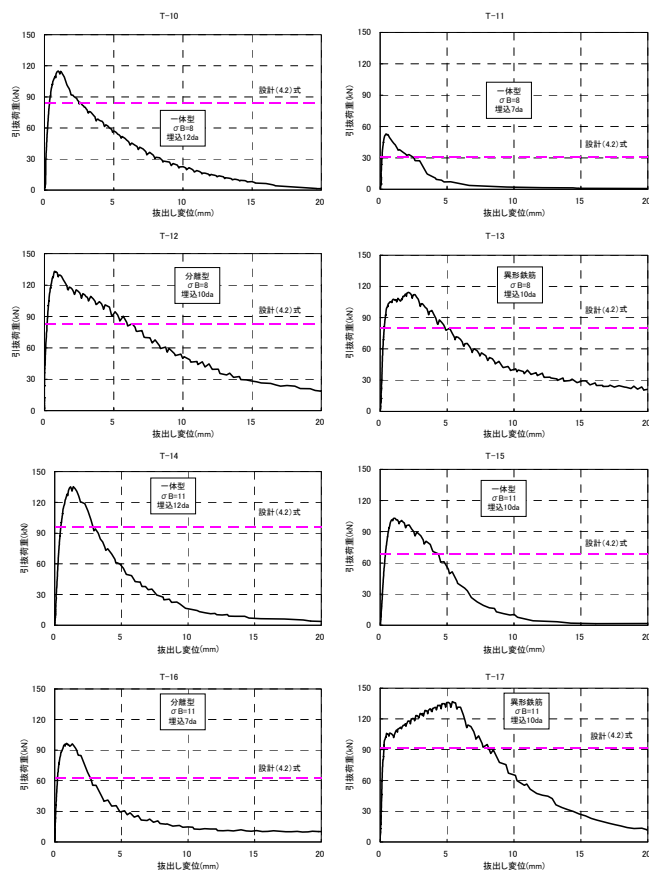


図-12 荷重-抜け出し量関係

4.6 実験値と計算値の検討

ディスク型アンカーの引抜き耐力評価式を(2)式に示す．また，T-13,T-17 の異形鉄筋試験体には建防協式を用いた．

$$T_a = \min(T_{a1}, T_{a2}, T_{a3}) \quad (2)式$$

$$T_{a1} = \sigma_y \cdot a_0$$

$$T_{a2} = 0.23\sqrt{\sigma_B} \cdot A_c$$

$$T_{a3} = \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot \ell_{de}$$

$$\ell_{de} = \ell_e - L_e - \frac{D_a - d_a}{2} \leq 15d_a$$

$$\tau_{bave} = \alpha \cdot \sqrt{\sigma_B / 21}$$

σ_y : 接続ボルト, アンカーボルトの材料強度 (N/mm²)
 a_0 : 接続ボルト, アンカーボルトの公称断面積 (mm²)
 A_c : 既存コンクリート躯体へのコーン状破壊面のアンカー 1 本当たりの有効水平投影面積 (mm²)
 τ_a : アンカー部の引抜き力に対する付着強度 (N/mm²)
 τ_{bave} : アンカー部の基本平均付着強度. $\alpha=10$ (N/mm²) とする.
 l_{da} : アンカー部の付着有効埋込み長さ (mm)
 D_a : (=90mm) ディスク部の外径(mm)
 c : へりあき寸法 (mm)

表-11 に試験体の計算値および実験値との比較を示す. 試験体の計算値は, コンクリート強度 8N/mm², 埋込み長さが 10 d_a の分離型ディスク型アンカーの T-12 試験体のみ付着破壊耐力 (Ta3), その他はすべてコーン破壊耐力 (Ta3) により決まっている. 各試験体の計算値に対する実験値の比は, 1.36~1.69 となり, 全試験体とも実験値は計算値を上回っていた.

表-11 実験結果一覧

試験体名	計算値			最大耐力 P _{exp}	最大耐力時 抜出し量	P _{exp} /Ta
	Ta2	Ta3	Ta			
T-10	84	87	84	115	1.00	1.36
T-11	31	51	31	53	0.42	1.69
T-12	107	83	83	133	0.75	1.61
T-13	80	89	80	114	2.10	1.43
T-14	96	99	96	135	1.40	1.41
T-15	69	85	69	103	1.04	1.50
T-16	62	72	62	97	0.90	1.55
T-17	91	102	91	137	5.39	1.50

4.7 引抜き実験のまとめ

引抜き実験により以下の結論を得た.

- (1)すべての試験体の破壊モードはコーン破壊であった.
また, コンクリート強度 10.2N/mm², 異形鉄筋型あと施工アンカーで有効埋込み長さが 10 d_a の T-17 試験体は, コーン破壊状のひび割れが発生した後も付着により耐力上昇が見られた.
- (2)ディスク型アンカーの引抜き耐力は「MaSTER FRAME 構法 設計施工指針」, 異形鉄筋型あと施工アンカーの引抜き耐力は「外側耐震改修マニュアル」による引抜き耐力の設計式で計算した計算値に対して 1.36~1.69 倍となり, 充分安全側に評価できる.

5. 残存引抜き実験

5.1 目的

せん断実験で支圧破壊した試験体, S-8, S-12, S-13, S-14 を用いて, 引抜き実験を行い, 残存引抜き耐力を把握する. また, 同じ試験変数である引抜き実験の試験体と

比較する.

5.2 破壊状況

写真-3 に各試験体の最終破壊状況を示す. すべての試験体でコンクリートがコーン状に破壊した.



S-8 破壊状況



S-12 破壊状況



S-13 破壊状況



S-14 破壊状況

写真-3 残存引抜き実験破壊性状

5.3 荷重-抜け出し量関係

せん断実験によりすべり量 10mm まで載荷した後, 残存引抜き試験を実施した結果一覧を表-12, 荷重-抜け出し量関係を図-13 に示す. また, 表中および図中比較のために同じ試験パラメータで引抜き試験を実施した試験体の結果を示す.

単純な引抜き耐力に対する残存引抜き耐力の比は, 0.83~1.00 となり, せん断実験によるすべり量 10mm という大変形後でも 80%以上の残存耐力がある.

せん断実験によりディスク周囲のコンクリートはかな

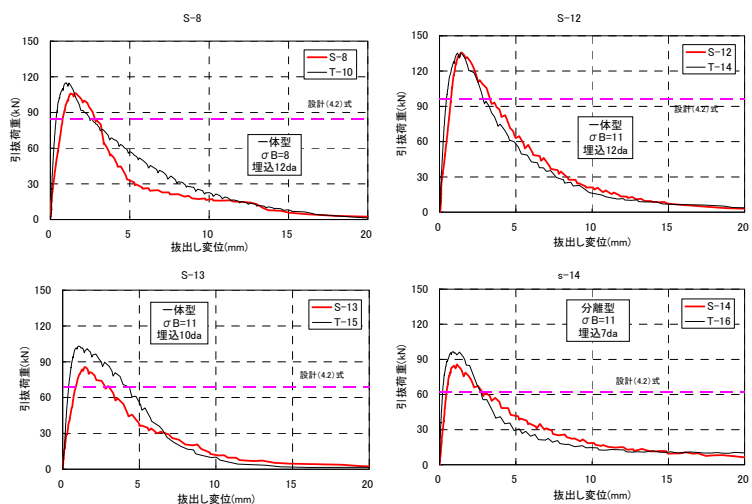


図-13 荷重-抜け出し量関係

り損傷しているが、せん断実験の有無による引抜き性状に大きな相違は見られない。これはせん断力に対してはディスク部周辺で主に抵抗機構を形成しているのに対し、引抜き力に対してはアンカー部で主に抵抗しているために推定できる。

表-12 実験結果一覧

試験体名	σ_B (N/mm ²)	最大耐力 P _{exp} (kN)	最大耐力時 拔出量 (mm)	残存耐力 ／ 引抜き耐力
S-8	8.65	106	1.59	0.92
T-10	7.77	115	1.00	
S-12	11.1	136	1.43	1.00
T-14	10.15	135	1.40	
S-13	11.1	85.6	1.43	0.83
T-15	10.15	103	1.04	
S-14	11.1	85.7	1.14	0.89
T-16	10.15	96.6	0.90	

5.4 まとめ

残存引抜き実験により以下の結論を得た。

- (1)単純な引抜き耐力に対する残存引抜き耐力の比は、0.83～1.00 となった。
- (2)「MaSTER FEAME 構法設計施工指針」による引抜き耐力に対して実験値はすべて上回っていた。

6. おわりに

MaSTER FRAME 構法の性能証明範囲である 13.5N/mm²未満の低強度コンクリートへの適用範囲拡大を目的として研究を実施した。技術的な課題としては、既存躯体と補強躯体の接合部の応力伝達を担うディスク型アンカーを低強度コンクリートに施工した場合のせん断強度、引抜き強度を精度よく評価することである。また、一般的な異形鉄筋型あと施工アンカーを併用することも考慮し、ディスク型アンカーおよび異形鉄筋型あと施工アンカーの単体のせん断実験、引抜き実験を実施することにより以下の結論を得た。

- (1) 低強度コンクリートとして 8 N/mm², 11 N/mm² の 2 水準を計画し、試験練りにより調合を検討した結果、せん断実験、引抜き実験時のコンクリート強度は、7.48 ～10.2N/mm² と計画通りの低強度コンクリート試験体を実現した。
- (2)ディスク型アンカーせん断耐力は、「MaSTER FRAME 構法 設計施工指針」の設計式による計算値に対してすべり量 2mm 時の実験値は、1.42～1.92 倍となり 13.5N/mm² 以上のコンクリートにディスク型アンカーを施工した場合と比較すると低強度コンクリートの方が計算値に対して実験値が大きな余裕がある。
- (3)ディスク型アンカーの引抜き耐力は「MaSTER FRAME 構法 設計施工指針」の設計式を用いた計算値に対して 1.36～1.69 倍となり、充分安全側に評価できる。
- (4)単純な引抜き耐力に対する残存引抜き耐力の比は、

0.83～1.00 となった。

- (5)異形鉄筋型あと施工アンカーを低強度コンクリートに施工した場合のせん断、引抜き耐力は、(財)日本建築防災協会の「外側耐震改修マニュアル」によるあと施工アンカーのせん断および引抜き耐力式を用いた計算値に低強度コンクリートの低減係数 β を乗じることにより実験結果を安全側に評価できることが確認できた。

本研究は、前田建設工業と東洋建設との共同研究として実施した。

参考文献

- 1) 戸辺,成瀬,今野,細川：高性能あと施工アンカーのせん断強度に関する研究(その 1) ,AIJ 大会学術講演梗概集 C-2,pp155-156,2010.9
- 2) 成瀬,戸辺,今野,細川：高性能あと施工アンカーのせん断強度に関する研究(その 2) ,AIJ 大会学術講演梗概集 C-2,pp157-158,2010.9
- 3) 「MaSTER FRAME 構法 設計施工指針」：(財)日本建築総合試験所，2010 年 3 月
- 4) 「外側耐震改修マニュアル」：(財)日本建築防災協会，2003 年