

論文 低強度コンクリート中における接着系アンカー筋の荷重伝達能力

山本泰稔*¹・片桐太一*²・秋山友昭*³・J.F. トンプソン*⁴

要旨: 一般にコンクリートの圧縮強度が低い既存鉄筋コンクリート造建物ほど耐震性能が低いので耐震補強の緊急性は高い。このような建物の補強に多用される接着系あと施工アンカーの荷重伝達能力が不明なのでせん断試験(群体・単体)と引抜試験(単体)を行った。実験変数はコンクリートの圧縮強度・アンカー径・埋込み長さ・へりあきである。圧縮強度が 15MPa 以下の低強度コンクリートを対象とした。あと施工アンカーの設計用数値についても提案する。

キーワード: 低強度コンクリート,あと施工アンカー,せん断試験,引抜試験,設計耐力

1.はじめに

最低のコンクリート圧縮強度として,1919年公布の市街地建築物法施行規則は 9MPa を認めていた。一方,耐震診断基準¹⁾は 13.5MPa を示している。また,耐震改修指針²⁾は 12MPa を下まわる場合,躯体コンクリートとして適切かどうかを慎重に検討するように定めている。過去の建築関係の文献では,戦時体制下で品質の悪いセメントを多量に使うことの不経済性を強調しているのみで,最低強度を 13.5MPa 前後に定める力学的な根拠を見いだすことはできない³⁾。

既存学校校舎から採集したコンクリートコア 227 本の圧縮試験では,設計基準強度を下回る確率が 18.9% あった。特に 1960年代のコンクリート強度が低く品質が粗悪なものもあった⁴⁾。コンクリート強度が低くても耐震補強が可能なら建物を保存しようとするのが,資源節約の今日的要請であるとする立場から,接着系あと施工アンカーを用いた補強設計の可能性をさぐる。

2. 実験計画

(1) 実験の方針: 耐震改修が急がれている現状を考慮し,できるだけ早く設計に反映させ

るような結果がでるように実験計画をたてた。特に鉄骨枠付き耐震補強工法及び増設 RC 耐震補強工法の際に使用される接着系あと施工アンカーを念頭においた。

(2) 試験の種類とその概要

(a) 群体せん断試験: 枠付き鉄骨ブレースの間接接合部を一部とりだして,接着系アンカーの強度と変形及び破壊の性状を調べる。

(b) 単体せん断試験及び単体引抜試験: 基本的な強度と変形の性状及び破壊性状を知るために載荷試験を行う。アンカー筋を装着するコンクリート躯体は,その表・裏両面を使用し躯体の数を節約する。

(3) パラメータ

(a) 躯体コンクリートの圧縮強度: 普通コンクリート Fc5, Fc10 及び Fc15MPa の 3 種類。

(b) あと施工アンカー筋: D16, D19, D22 の 3 種類とし,有効埋込み長さ(l_e)は $7d_a$, $10d_a$ (ここで d_a は径)の 2 種類。ただし,群体せん断試験では $7d_a$ を装着した 1 種類。

(c) へりあき寸法(c): 100mm と 200mm の 2 種類。ただし,単体引抜試験では 100mm と 300mm。

(4) 試験体の形状

(a) 群体せん断試験: 図 1 に標準的なアンカーのへりあき $c=200\text{mm}$ の場合と,偏りのある $c =$

*1 芝浦工業大学教授 工学部建築学科 工博(正会員) *2 株式会社設計顧問(正会員)

*3 株式会社東京ソイルサーチ 構造調査設計事業部長(正会員) *4 Hilti(Japan)Ltd., Eng. Manager, B. S

(δ_{MC})に分離できるようにした。加力は正・負5回の繰り返し载荷を原則とした。

3.2 単体せん断試験

アンカー筋にはコンクリート表面から20mmの位置でテフロンシートを敷いてせん断力を加えた。荷重の方向が躯体の材軸方向に一致するよう特製の装置を考案した(装置図は省略)。荷重はロードセルで検出した。躯体とアンカー筋の相対的な水平変位を荷重ステップごとに測定した。加力は単調载荷とした。

3.3 単体引抜試験

躯体に装着したアンカー筋に単調な引張力を加えた(装置図は省略)。アンカー筋の間隔が300mmと比較的密なので、コーン破壊の際に互に干渉合って強度が影響をうける可能性がある。それで引抜力は左・右・真ん中の順番に加えた(図7参照)。躯体との相対的な引抜け量(δ)を測定した。

4. 使用材料

4.1 コンクリート

(1) 調査計画: 標準養生における4週の圧縮強度が5,10,及び15MPaとなるように3種類の調合を決めた(表3)。水量を一定に保ちながらセメント量を減らして圧縮強度を低下させた。W/Cは低強度ほど大きくなるが、セメントの代わりに石粉を混入したので、W/(C+石粉)はほぼ一定値(0.66)となった。その結果、スランプ値はどの強度でも共通で約18cmとなった。試験体には生コンを打込んだ。

(2) 試験結果: 表5に標準養生と封かん養生したコンクリートの試験強度を示す。コンクリート強度は材令と共に成長した。解析では図5に示す封かん養生強度を用いた。

4.2 充填用無収縮モルタル

間接接合部にはプレミクストタイプの無収縮モルタルを使用した。調合は表4に、又圧縮試験結果は表5に示す。

表3. 低強度コンクリートの調合

調合No.	目標強度(MPa)	スランプ(cm)	空気量(%)	粗骨材最大寸法(mm)	水結合材比 W/B (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位水量			単位体積重量(kN/m ³)
								水 W	セメント C	石粉 CaCO ₃	
1	5	18	4±1	25	65	180	48.6	167	93	164	21.5
2	10					120		169	141	119	20.3
3	15					85		171	201	62	21.5

表4. 充填用無収縮モルタルの調合

1m ³ 当たりの標準使用量(kgf)	使用水量(l)	コンシステンシー J14 R-(秒)	練り上がり温度の範囲(°C)
1.875 (25kgf×75袋)	3.8~4.2	5~11	10~35

※凝結時間は始発 6:00 時間、終発 6:30 時間

表5. コンクリート及びモルタルの強度試験結果

種類	設計強度(MPa)	打設時スランプ(cm)	空気量(%)	圧縮強度(MPa)		割裂強度(MPa)		ヤング係数(10 ³ GPa)	実験時強度	
				標準	封緘	標準	封緘		圧縮強度(MPa)	割裂強度(MPa)
低強度	5	18.0	4.7	3.18(7) 4.20(28)	3.85(14) 3.72(28)	0.44(7) 0.55(28)	0.55(14) 0.66(28)	21(14) 14(28)	4.50 (91)	0.58 (91)
	10	17.0	4.8	5.61(7) 7.68(28)	6.59(14) 8.50(28)	0.82(7) 1.06(28)	0.84(14) 0.91(28)	20(14) 19(28)	9.93 (91)	0.89 (91)
	15	18.0	3.9	8.94(7) 13.90(28)	11.96(14) 14.11(28)	1.17(7) 1.86(28)	1.27(14) 1.00(28)	22(14) 24(28)	16.07 (90)	1.28 (90)
モルタル	80	-	-	-	79.77(20)	-	2.97(20)	31(20)	77.67 (70)	3.13 (70)

* () 内は材齢(日)

表6. 躯体用鉄筋及びアンカー鋼材の試験結果

呼び名	公称断面積(cm ²)	降伏強度 σ_y (MPa)	最大強度 σ_{max} (MPa)	破断時の伸び(%)
D6	0.32	199.9	241.1	28.9
D13	1.267	378.3	570.4	28.3
D16	1.986	391.0	595.8	23.3
D19	2.865	375.3	567.4	23.9
D22	3.871	376.3	570.9	24.9

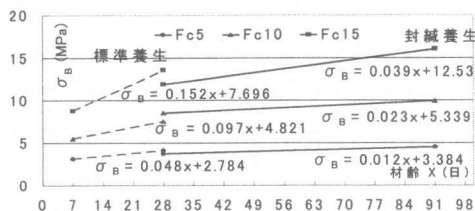


図5. 材齢別コンクリートの圧縮強度

4.3 鉄筋及びアンカー筋

鉄筋は収縮ひび割れ防止用のD6(溶接金網用)を除き、すべてJIS G3112 SD345の規格品である。引張試験結果は表6に示す。

5. 実験結果

5.1 群体せん断試験

(1) Q- δ 関係及びひび割れ: 図6は標準タイプ

の a)QG-C05-19S 及び b)QG-C15-19S の $Q-\delta$ 曲線とひび割れ図である。 σ_B が大きくなると最大強度(Q_{max})も大きくなる。ただし粘りに大きな差異は認められない。又コンクリートが強くなると躯体のひび割れ数は少なくなる代わりに、モルタル部分のひび割れ数は逆に増えてくる。

アンカー筋が偏心した QG-C05-19E 及び QG-C15-19E の場合、C15 は δ が大きくなって荷重は上昇した。又躯体のひび割れ数は偏心があると増えた。C05 は躯体表面に数多くひび割れが発生するのに対し、C15 は荷重が大きくなるのでモルタル部分に多くのひび割れが発生した。

5.2 単体せん断試験

図 7 は標準タイプの a)Q7-C05-19S 及び b)Q7-C15-19S の $Q-\delta$ 曲線とひび割れ図である。 $Q-\delta$ 曲線の初期剛性はコンクリート強度が変化しても殆ど影響をうけない。 δ がすすむに従って、C15 の Q_{max} は C05 の約 2 倍に上昇した。又躯体の σ_B が高くなるにつれてひび割れ数は少なくなる。ただし支圧による躯体の圧壊の範囲は強度が高いほど広がる。

偏心のある Q7-C05-19E 及び Q7-C15-19E の場合、 σ_B が高いと Q_{max} も高くなる。 σ_B の初期剛性に与える影響は少ない。しかし Q_{max} に達する時のすべり量は、 $c=100\text{mm}$ の方が 200mm のときに比べて小さく粘りもない。又 Q_{max} の値も低い。へりあき部分の躯体の破損はコンクリートが弱いほど激しくなる傾向がみられた。

5.3 単体引抜試験

図 8 は $c=300\text{mm}$ の場合の a)T7-C05-19S と b)T7-C15-19S の引抜力(T)-拔出量(δ)曲線とひび割れ図である。 σ_B が低くても初期引抜剛性に大きな差はない。しかし最大耐力(T_{max})は σ_B が高くなると 2 倍程度高くなり、変形追従能力もすぐれ、エネルギー吸収量には明らかに差がある。ひび割れは σ_B が低いと躯体全域に広がる。 σ_B の影響は明白である。 $c=100\text{mm}$ の

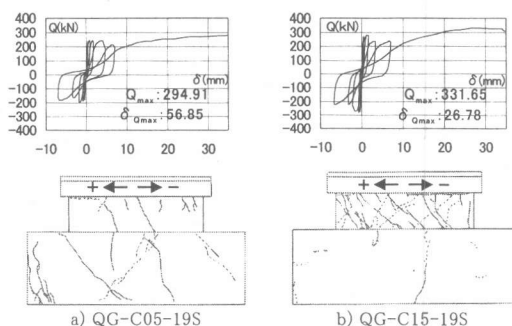


図 6. 群体せん断試験結果

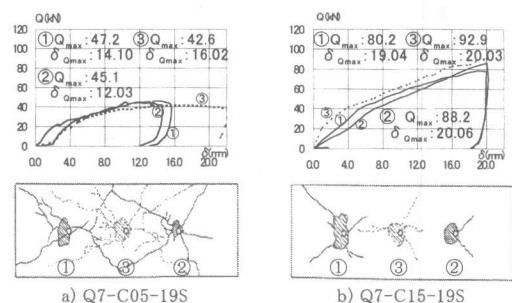


図 7. 単体せん断試験結果

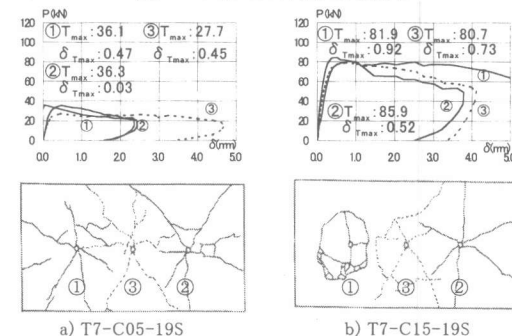


図 8. 単体引抜試験結果

T7-C05-19E と T7-C15-19E を比較すると、 $c=300\text{mm}$ の場合と同様、初期剛性に大きな違いはないものの、エネルギー吸収能力には差がある。ただし $c=100\text{mm}$ だと σ_B が高くてもはしあきの影響を大きく受ける。 $c=100\text{mm}$ と小さいために、ひび割れはコンクリートの強弱にかかわらず自由表面に集中しておきた。

6. 実験結果の検討

6.1 せん断試験から得られた終局強度

(1) σ_B の影響: 図 9 に群体の最大せん断強度(Q_{mg})をアンカー筋の断面積(A_s)で割って、平均せん断応力度(τ_{mg})に直してプロットした。比較

のために単体試験のうち $l_e=7d_a$ で D19 及び D22 の 2 種類から、 $c=100\text{mm}$ 及び 200mm のものの 3 本を平均した最大せん断応力度 (τ_{ms}) も示した。それぞれ回帰直線を求めた。 τ_{mg} の方が τ_{ms} よりも高い強度を示す。群体はアンカー筋のせん断抵抗の他にコンクリートの摩擦抵抗があること、及び単体に比べて躯体とモルタルの界面で局部応力を受けなくてすんだことのためであると考えられる。

(2) アンカー径(d_a)の影響: 図 10 に群体の τ_{mg} と単体の τ_{ms} をアンカー筋の径ごとに分類して示す。径の細いアンカー筋の方が平均せん断応力度は高くなり有効に働いているのが分かる。ばらつきはあるものの、 σ_B が低くなるほど径の太い 22mm は効率が悪くなる。

(3) はしあきの影響: 図 11 は τ_{mg} , τ_{ms} の値とへりあき(c)との関係を示す。 c が大きくなると平均せん断応力度も大きくなる。回帰曲線と原点とを結ぶ実験曲線は $\tau_m = A\alpha(c/100)^{0.15}$ で近似できる。ここに、 A は群体又は単体かによって決まる定数で、群体は約 300、単体は約 150 である。 α は σ_B に関する影響係数で、 σ_B が 5 MPa のとき 0.67、 σ_B が 10, 15 MPa のとき 0.85 程度の値である。

(4) l_e の影響: 図 12 は τ_{mg} , τ_{ms} の値と l_e との関係を示す。群体では全て $l_e=7d_a$ としたが、単体では $7d_a$ と $10d_a$ の 2 種類がある。 $10d_a$ の方が強度は平均 1.15 倍程度高くなる。

(5) τ_m に関する検討: 図 9 の数式にアンカーの降伏点強度を考慮して整理したのが式(1)及び(2)である。両者の差はせん断摩擦の影響と考えた。これらの基本式に以下の ϕ_1 , ϕ_2 及び ϕ_3 を乗すればアンカー 1 本当たりのほぼ、最低せん断耐力値が求まる。

(a) コンクリート強度を考慮した基本強度

$$\text{群体: } \tau_{mg} = \{0.602 + 0.019 \sigma_B\} \sigma_y \quad \text{-----(1)}$$

$$\text{単体: } \tau_{ms} = \{0.205 + 0.036 \sigma_B\} \sigma_y \quad \text{-----(2)}$$

ここに、 τ_{mg} , $\tau_{ms} \leq \sigma_y$, σ_y : アンカー筋の引張降伏強度(MPa)

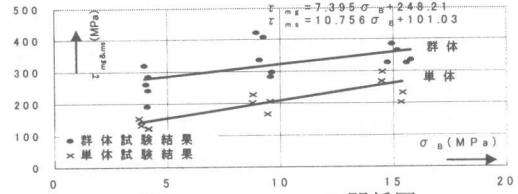


図 9. $\sigma_B - \tau_{mg \& ms}$ の関係図

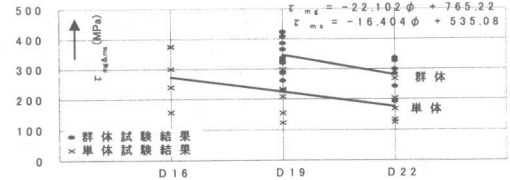


図 10. $\tau_m - \phi$ の関係図

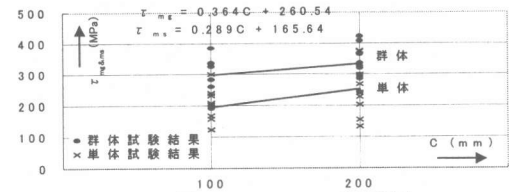


図 11. $\tau_m - c$ の関係図

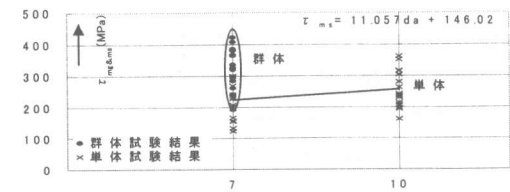


図 12. $\tau_m - l_e$ の関係図

(b) アンカー径の影響係数

$$\phi_1 = 0.84 - 0.05(d_a - 22) \quad \text{-----(3)}$$

(c) c の影響係数 $\phi_2 = 0.85(c/100)^{0.15}$ -----(4)

ただし、 $\phi_2 \leq 1.0$ とする。なお、 c の単位は [mm] にとり、 $\sigma_B = 5\text{MPa}$ のときは定数 0.85 を 0.67 に読みかえる。

(d) l_e の影響係数 ϕ_3 : $7d_a$ を基準(1.0)にとり $10d_a$ の場合は 1.15 とする。以上の結果は最大せん断強度のみから求めた値である。建物の層間変形角を $1/125$ 程度に制限したいときは、上記の基本式に低減係数 0.85 を乗ずると実験結果に近くなる。又、D22 で $\sigma_B \leq 10\text{MPa}$ では危険側の数値になることがあるので注意を要する。

6.2 単体の引抜試験から得られた終局強度

(1) σ_B と l_e との関係: 図 13 は引抜試験体全部の最大荷重時における引抜応力度 ($\sigma_t = T_{max}/A_a$)

と σ_B との関係を示す。 σ_B と σ_t の間には明らかに比例関係があり、その関係は図9の τ_{ms} の場合よりも急な勾配となる。

(2) アンカー径の影響：図14は径ごとの σ_t と σ_B との関係を示す。径が細いほど σ_t の値は大きくなる。特にD16は引抜強度が高い。 $\sigma_B \geq 15\text{MPa}$ だと、D16及びD19の中に引張降伏するものがある。

(3) ヘリあきの影響：図15は c と σ_t との関係を示す。 $c=300\text{mm}$ の場合には径が細いD16の σ_t が大きくなり効率がよい。D22は $c=300\text{mm}$ でも σ_t の値は降伏点 $\sigma_y=376\text{MPa}$ には達しない。

(4) l_e の影響：図16は l_e と σ_t との関係を示す。一般に l_e が長くなるに従って σ_t の値は大きくなる。しかし、効率のことを考えるなら細いアンカー筋を使用した方が有利である。

(5) 終局強度に関する結果：以上図13～16のグラフを参考にして数量化を試みる。

(a) 基本式 $\sigma_t = 10.0 \sigma_B + 63.7$ ----- (5)

(b) アンカー径の影響係数 ϕ_1 ：D16で1.16, D19で1.00, D22で0.94にとる。

(c) c の影響係数 $\phi_2 = 0.85(c/100)^{0.15}$ ----- (6)
ただし $\phi_2 \leq 1.0$ にとる。

(d) l_e の影響係数 ϕ_3 ： $7d_a$ なら1.0, $10d_a$ なら1.15にとる。

7. おわりに

接着系のあと施工アンカーを設計する際に有用な具体的な数値を示すことに重点をおいた。 σ_B が 5MPa 程度でもせん断強度や引抜強度が急激に低下することはなかった。

8. 参考文献

- (財)日本建築防災協会、「改定版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説」, pp.62, 1990年12月
- (財)日本建築防災協会、「改定版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針同解説」, pp.198, 1990年12月
- 浜田稔, 「セメント強度試験法規格改正に就い

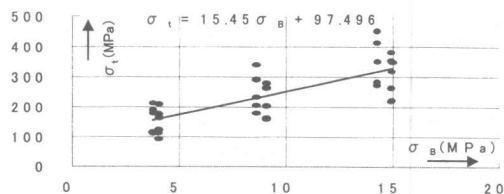


図13. $\sigma_B - \sigma_t$ の関係図(全試験体)

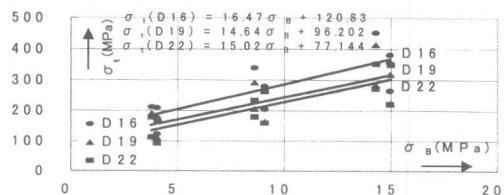


図14. $\sigma_B - \sigma_t$ の関係図(径ごと)

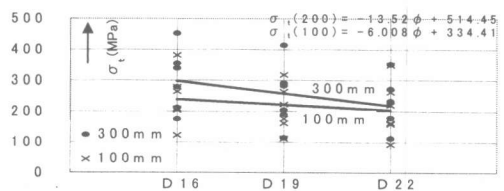


図15. $\sigma_t - d_a$ の関係図

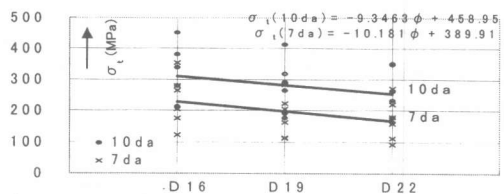


図16. $\sigma_t - l_e$ の関係図

て」, 建築雑誌, pp.166-168, 1942年3月

4) 周建東, 広沢雅也, 清水泰, 「関東地方A県下における学校校舎の耐震性能(その4)コンクリート強度および鉄筋種別」, 日本建築学会大会学術梗概集, pp.29, 1998年9月

謝辞 実験は矢作建設工業㈱の長久手実験場で行った。建築技術部加藤三晴次長及び技術課上田洋一氏には大変お世話になった。又モルタル充填にあたりシンエイマスター(株)から資材および労務の提供をうけた。更に実験の実施に当たり芝浦工業大学及び日本工業大学の学生諸君に大変お世話になった。特に大学院生有木克良君にはこの論文の作成にあたり協力してもらった。関係者に深甚の謝意を表します。