

論文

[2013] 太径樹脂アンカーのせん断実験

正会員 広 沢 雅 也 (建設省建築研究所)
 正会員 芳 村 学 (建設省建築研究所)
 正会員 ○秋 山 友 昭 (㈱東京ソイルリサーチ)
 片 桐 太 一 (日本ドライブイット㈱)

1. はじめに

近年、耐震補強工事や建築構造部の増改築工事の増加に伴って、後施工アンカーが主要構造部に多用されるようになってきている。このような部位に用いるアンカーには大きな耐力を負担させることが必要となるために、従来から用いられてきたものより太径のものの使用頻度が増大してきている。これに伴って、後施工アンカーに関する実験も数多く行われているが、その多くがアンカーの引抜き耐力に関するものである。また、せん断実験にしてもそのほとんどが径19mm以下の細径のものを扱っている。

そこで本実験では、樹脂アンカーの中でも特に太径のもの (D25, D22) についてせん断実験を行うことにより、主に耐力と最終的な破壊性状に対する加力方法、アンカー径、アンカー埋込み深さおよび同時に加力するアンカーの本数などの影響を実験的に確かめ、今後のアンカーの設計に資することを目的としたものである。

2. 試験体

表-1に試験体一覧を示す。試験体は合計45体であり、群体 (3本組) 12体および単体24体がエポキシ

アクリレート樹脂を主材とした樹脂アンカー試験体であり、単体9体が頭付きのメカニカルアンカー試験体である。図-1に示す既存の大型コンクリートブロックにこれらのアンカーを定着し、試験体とした。図-2にはこれらアンカーの既存コンクリートブロックへの定着方法を示した。なお、アンカーは実際の建物におけるはりへの打設を想定し、既存コンクリートブロックの端から175mm内側の位置に打設した。アンカー頭部は、図-3に示すようにその周囲を厚さ6mmの鉄板で囲み、この中に割裂防止筋 (D6) を配した後に、無収縮モルタルを圧入した。また、試験体のせん断面となる無収縮モルタルと既存コンクリートブロックとの界面には摩擦が生じないように、テフロンを二層に施し、アンカーだけにせん断力が伝わるようにした。これら試験体に使用したアンカー鉄筋の材料試験結果を表-2に、また既存コンクリートブロックより採取したコア (φ 100) および無収縮モルタルのテストピースによる圧縮強度の試験結果を表-3に示す。

3. 実験概要

表-1 試験体一覧

試験体名	アンカー本数	アンカー径	埋込み深さ	加力方法	アンカー種類		
1A-1	3	25	7.5d	繰り返し	樹脂		
1A-2			5d				
1B-1		22	7.5d				
1B-2	5d						
2A-1	3	25	7.5d			繰り返し	樹脂
2A-2			5d				
2B-1		22	7.5d				
2B-2	5d						
3A-1	3	25	7.5d	繰り返し	樹脂		
3A-2			5d				
3B-1		22	7.5d				
3B-2	5d						
4A-1	1	25	7.5d			単調	樹脂
4A-2						繰り返し	
4A-3				単調			
4A-4		5d	繰り返し				
4A-5			単調				
4A-6			単調				
4B-1	1	22	7.5d	繰り返し	樹脂		
4B-2				単調			
4B-3				繰り返し			
4B-4		5d	繰り返し				
4B-5			単調				
4B-6			単調				
5A-1	1	25	7.5d	繰り返し	樹脂		
5A-2				繰り返し			
5A-3				メカニカル			
5A-4		5d	単調				
5A-5			繰り返し				
5A-6			メカニカル				
5B-1	1	22	7.5d	単調	樹脂		
5B-2				繰り返し			
5B-3				単調			
5B-4		5d	繰り返し				
5B-5			単調				
5B-6			メカニカル				
6A-1	1	25	5d	単調	樹脂		
6A-2			繰り返し				
6A-3		19	5d	単調			
6A-4				繰り返し			
6A-5		25		単調			
6A-6		19	メカニカル				
6B-1	1	22	5d	単調	樹脂		
6B-2			7.5d	繰り返し			
6B-5			5d	繰り返し			

加力は鉄骨反カフレームに取付けた容量 70tonのセンターホールジャッキで加力ビームを介して行った(図-4参照)。この時アンカーにはせん断力だけが加わるように、ジャッキ芯とコンクリートブロック面に接するアンカー試験体のせん断面とが同一面内にくるように加力を行った。

加力の種類は、一方向単調加力と正負繰返し加力の二種類とした。このうち正負繰返し加力では、各種合成構造設計指針による計算上のアンカーのせん断強度

$$0.7 \cdot s_{0y} \cdot s_{ca} \quad (s_{0y}$$

y : アンカー鉄筋の建築基準法上の材料強度で $3.5 \times 1.1 = 3.85 \text{ t/cm}^2$, s_{ca} : アンカー鉄筋のせん断面での断面積)の $2/3$ の荷重で5回繰返した後正側に押切るといふ荷重履歴を採用した。測定は、荷重とその時の水平および上下方向の変位について行った。なお、水平変位は、図-3に示すようにアンカーのせん断面より 2.5 cm 上で測定した。

4. 実験結果とその検討

実験結果の内、最大耐力等を表-4に一覧として示し、また、荷重-変形曲線の例を図-7、図-8に示した。これらの図表に見るように、試験体によって破壊状況や荷重-変形性状が非常に異なることが認められた。特に、最大耐力時の水平変形は非常に大きく、 4 cm 以上に達するものもあった。また、図-7や図-8のように水平変形が増大しはじめる時の荷重は比較的に小さく、その後、水平変形の増大に荷重が暫増する試験体が多かった。そこで、表-4の中では、最大耐力に加えもう一つの限界荷重として、水平変形が 0.75 cm に達した時の荷重をまとめた。これは、アンカーを建物の耐震補強に用いる場合を想定し、一般的な階高 ($h=300 \text{ cm}$)を持つ建物にアンカーを用いて増設したRC壁などが最大耐力に達する時の変形に近い値を部材角 $1/200$ と想定し、これから算出したものである。また最終破壊モードは、表-5に示す各破壊状況から判定して分類した。この結果、樹脂アンカー5d埋込みではアンカーボルト引抜き、単体7.5d埋込みではボルト破断、そしてメカニカルアンカーでは先端破壊が支配的であった。

図-5にアンカー径と最大耐力時におけるアンカー鉄筋の平均せん断応力度 (τ_{\max})との関係を示した。また、図-6には最終破壊モードと τ_{\max} との関係を示した。これらより次の項目について結果を検討した。

4-1 繰返し加力による耐力の差

図-5に示すように、アンカー径D22埋込み深さ5d試験体では単調加力の τ_{\max} に対して繰返し加力の τ_{\max} が全般的に低く、多少繰返しによる耐力低下が表われている。しかし、この他の試験体では τ_{\max} に及ぼす繰返し加力の影響はほとんど認められない(図-7参照)。

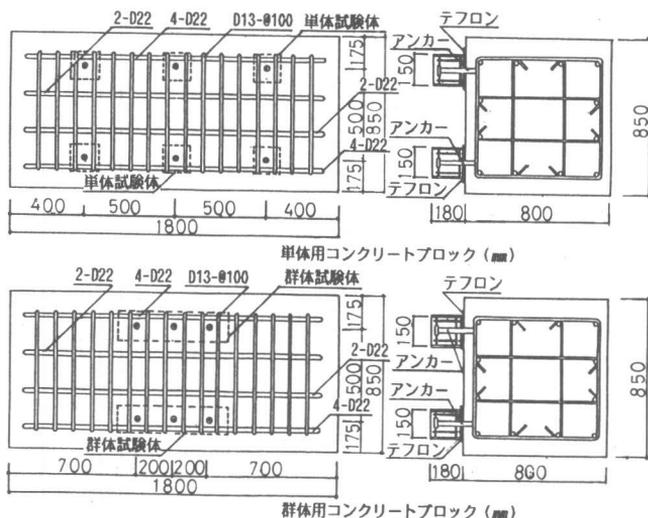


図-1 既存コンクリートブロック配筋図



図-2 アンカーの定着方法

4-2 アンカー径による耐力の差

樹脂アンカーの場合、単体5d埋込み単調加力試験体では全体的にD25に比べD22の τ_{max} が大きい。これに対して、7.5d埋込み繰返し加力試験体で若干逆の傾向がみられる。なお、その他の試験体では群体試験体も含めて、D22とD25との間に径の違いによる τ_{max} への影響は認められない。メカニカルアンカーでは19φ試験体の τ_{max} が22φ、25φのものに比べて大きいものの、22φと25φとでは径による τ_{max} への影響はほとんど見られない。

4-3 アンカーの種類による差

図-5に示すように、7.5d埋込まれた樹脂アンカーとメカニカルアンカー（5d埋込み）とを比較した場合、径22および25mmともメカニカルアンカーの τ_{max} に比べて、樹脂アンカーの τ_{max} が全体的に1.6~1.8倍程度大きい。図-8に代表的な試験体の荷重-変形曲線を示したが、この図に見るように、破壊時の水平変形についても樹脂アンカーの方が大きい。即ち、最終的な

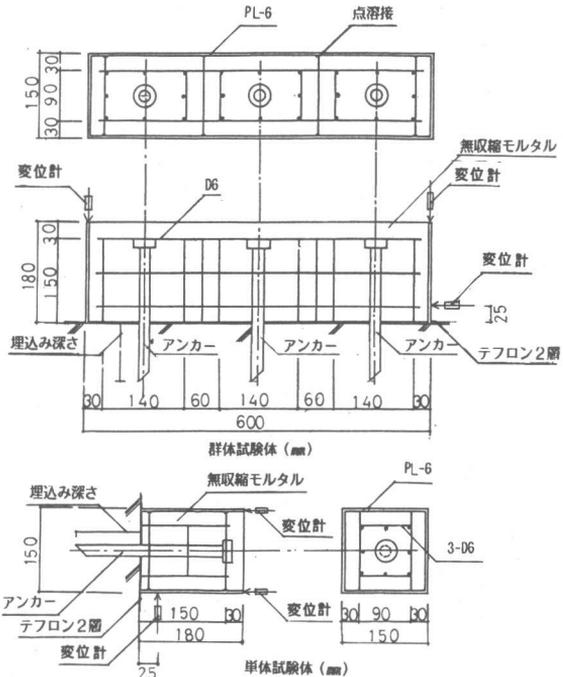


図-3 アンカー試験体

表-2 樹脂アンカー-鉄筋の材料特性

アンカー ボルト	ナット	公称断面積 (cm^2)	降伏点強度 (Kg/cm^2)	引張強度 (Kg/cm^2)
D22	M22	3.87	3 6 9 5	5 6 1 3
D25	M24	5.07	3 7 6 9	5 6 9 3

表-3 コンクリート・モルタルの材料特性

試験体	気乾単位 容積重量 (t/ml)	圧縮応力 (Kgf/cm^2)	弾性係数 ($\times 10^3 Kgf/cm^2$)
既存 コンクリート	2.31	337	2.11
無収縮 モルタル	2.12	380	2.52

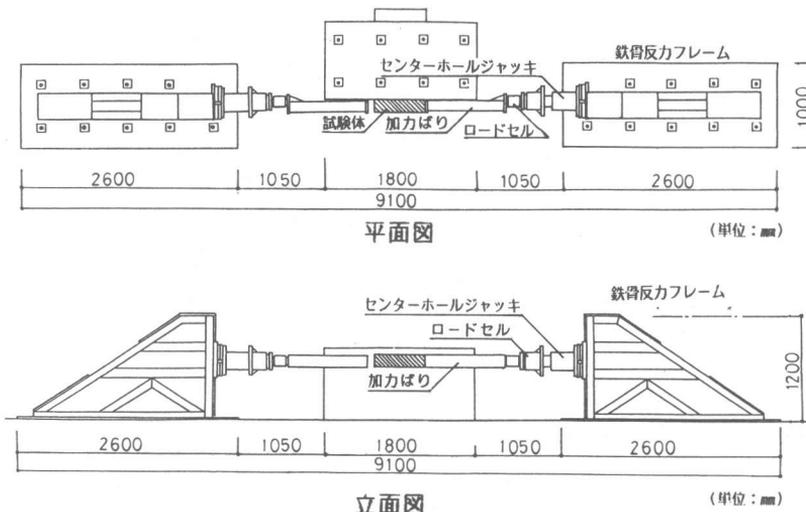


図-4 加力装置

破壊モードでは樹脂アンカーがボルト破断までもっているのに対して、メカニカルアンカーはボルト破断以前にアンカー先端部の破壊が多い。

一方、いずれも同じ5d埋込みとした試験体の場合、径22mmでは樹脂アンカーの τ_{max} とメカニカルアンカーの τ_{max} にほとんど差は認められないものの、径25mmでは樹脂アンカーに比べメカニカルアンカーの τ_{max} が全体的に約1.1倍程度大きい。なお、この場合の最終破壊モードは、メカニカルアンカーがアンカー先端部の破壊が多いのに対して、樹脂アンカーはすべてボルト引抜きとなっている(図-6参照)。

4-4 打設本数による差

埋込み深さ5dの場合にはD22、D25とも単体試験体と群体試験体との τ_{max} にあまり大きな差はみられない。また、最終破壊モードはいずれもアンカーボルトの引抜きとなっている。

4-5 埋込み深さ

単体試験体の場合、D25では5d埋込みに対する7.5d埋込みの τ_{max} がほぼ全体的に2.1倍程度大きい。また、この埋込み深さによる違いは、D22でも τ_{max} は単調加力のもので約1.5倍程度、繰返し加力のもので約2倍程度全体的に大きい。

表-4 実験結果

試験体名	最大せん断耐力 Qmax (ton)	最大変形力 Qmax (mm)	短期許容せん断力 QAS (ton)	QAS/Qmax	最終破壊形態
1A-1	38.60	-	26.0	0.67	(割裂破壊)
1A-2	35.37	15.74	29.6	0.84	(割裂破壊)
1B-1	33.76	19.48	21.0	0.62	ボルト引抜き
1B-2	27.30	26.69	21.0	0.77	ボルト引抜き
2A-1	39.69	57.34	27.0	0.68	(割裂破壊)
2A-2	29.63	36.21	27.0	0.91	ボルト引抜き
2B-1	25.20	30.52	21.0	0.83	(割裂破壊)
2B-2	34.25	30.60	21.0	0.61	ボルト引抜き
3A-1	37.77	17.11	28.4	0.75	(割裂破壊)
3A-2	39.99	27.03	29.6	0.74	ボルト引抜き
3B-1	42.44	28.32	20.8	0.49	(割裂破壊)
3B-2	22.38	16.38	21.0	0.94	ボルト引抜き
4A-1	26.43	-	10.2	0.39	ボルト破断
4A-2	25.92	-	9.0	0.35	ボルト破断
4A-3	27.13	-	10.6	0.39	ボルト破断
4A-4	12.23	20.07	9.3	0.76	ボルト引抜き
4A-5	12.06	23.53	9.0	0.75	ボルト引抜き
4A-6	12.20	15.56	11.2	0.92	ボルト引抜き
4B-1	22.05	-	6.4	0.29	ボルト破断
4B-2	20.91	-	7.0	0.33	ボルト破断
4B-3	20.58	-	9.1	0.44	ボルト破断
4B-4	12.60	26.11	8.7	0.69	ボルト引抜き
4B-5	10.99	25.42	7.4	0.67	ボルト引抜き
4B-6	12.60	22.13	8.8	0.70	ボルト引抜き
5A-1	19.00	34.60	11.3	0.59	ボルト破断
5A-2	26.67	50.60	11.7	0.44	ボルト破断
5A-3	16.15	39.79	11.3	0.70	先端破壊
5A-4	13.60	-	9.5	0.70	先端破壊
5A-5	12.65	40.71	8.2	0.65	ボルト引抜き
5A-6	15.20	-	10.2	0.67	ボルト引抜き
5B-1	11.9	41.15	7.2	0.60	先端破壊
5B-2	17.03	45.59	7.0	0.41	先端破壊
5B-3	18.60	-	4.9	0.26	ボルト破断
5B-4	13.46	25.47	7.6	0.56	先端破壊
5B-5	10.20	41.11	6.2	0.61	ボルト引抜き
5B-6	11.78	20.57	7.8	0.66	ボルト引抜き
6A-1	14.79	-	9.6	0.65	先端破壊
6A-2	29.60	-	10.8	0.36	ボルト破断
6A-3	11.20	49.65	6.2	0.55	先端破壊
6A-4	9.96	-	6.2	0.62	先端破壊
6A-5	13.00	39.26	9.0	0.69	ボルト引抜き
6A-6	9.26	47.02	6.0	0.65	ボルト引抜き
6B-1	11.97	50.58	7.4	0.62	先端破壊
6B-2	20.28	61.73	8.4	0.41	ボルト破断
6B-5	9.96	-	7.0	0.70	ボルト引抜き

表-5 最終破壊状況

注1 割裂破壊はデータとしてせん断耐力を表していない。

破壊モード	破壊状況	樹脂アンカー(単体)		樹脂アンカー(群体)		メカニカルアンカー
		5d	7.5d	5d	7.5d	
割裂破壊	アンカー頭部に配した割裂防止筋に沿って無収縮モルタルが破壊し、それ以上耐力が上がらない状態。 最終的にコンクリートブロック面でアンカーがせん断破断した状態。	-	-	1	6	-
ボルト破断	アンカーボルト付着面の破壊に伴う周辺コンクリートの破壊及びアンカーの引抜きの状態。	1	11	-	-	-
ボルト引抜き	メカニカルアンカーで、その先端部が破壊され、最終的にアンカーが引抜かれる状態。	-	-	5	-	3
先端破壊		-	-	-	-	6

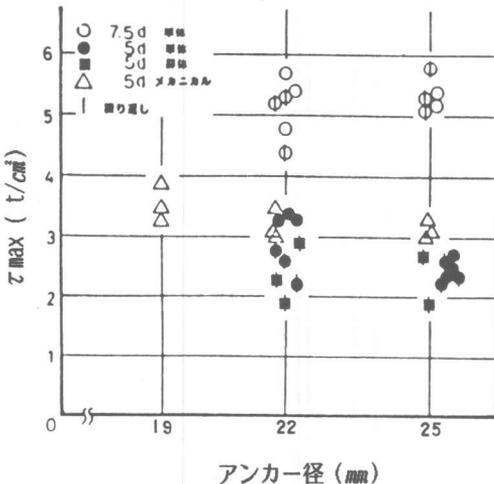


図-5 アンカー径と最大耐力時平均せん断応力度(τ_{max})との関係

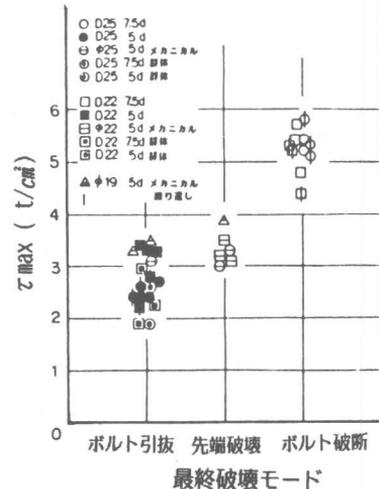


図-6 最終破壊モードと最大耐力時平均せん断応力度(τ_{max})との関係

最終破壊モードは、7.5dのものがすべてボルト破断であるのに対して、5dではすべてアンカーの引抜きである。このように、7.5d埋込みと5d埋込みとの最終的な破壊モードの差が τ_{max} の値に大きく影響している(図-6参照)。

5. 既往のせん断耐方式による結果の検討

現在、アンカーのせん断設計に一般的に用いられている表-6に示す各式により、実験結果を比較・検討した。

図-9には各種せん断設計式とともに、4項で定義した限界変形時荷重(QAS)を、横軸にアンカー1本の断面積を採ってプロットした。この図に示すように、(2)、(4)および(5)式に対してはいずれの試験体のQASもこれらを下回っている。これに対し、メカニカルアンカーの設計に用いられている(3)式に対しては、

すべてのメカニカルアンカーのQASが計算値を上回っている。この式に対して、樹脂アンカーではD25埋込み深さ7.5dのものおよびD22埋込み深さ5dのものが計算を上回っている。しかし、樹脂アンカーでD22、7.5d埋込みのものはQASにバラツキが大きく、2体のものが(3)式を下回っている。

図-10には各種せん断設計式と実験上の最大耐力(Qmax)との関係を示した。この図に示すように、(2)式に対しては7.5d埋込み樹脂アンカー試験体のQmaxがすべて計算値を上回っている。また、これらの試験体に加えD22、7.5d埋込み試験体およびすべてのメカニカルアンカー試験体のQmaxが(5)式による計算値を上回っている。なお、(3)式に対してはすべての試験体のQmaxが計算値を上回っている。

6. まとめ

太径樹脂アンカーについて、埋込み深さ、アンカー径、加力方法、アンカー本数等を変動因子としてせん断実験を行った結果、次のことが明らかになった。

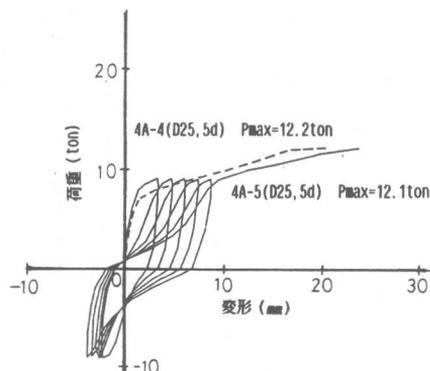


図-7 単調加力と繰返し加力(試験体)の荷重-変形曲線

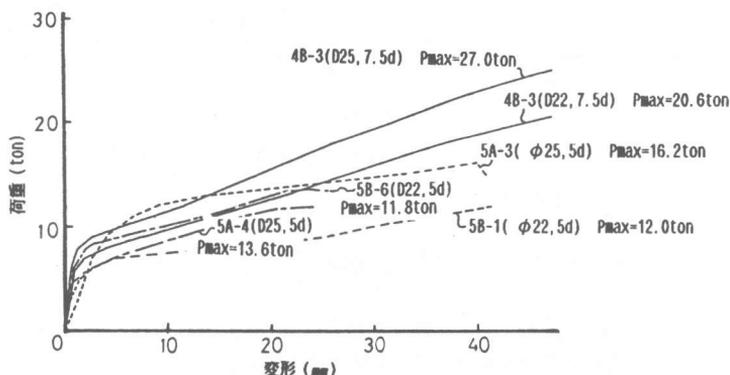


図-8 代表的試験体の加力の荷重-変形曲線

表-6 アンカーの設計指針式一覧表

① 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針	
$Q_1 = 0.4 \times \sigma_c \times a \times \sqrt{F_c \times E_c}$(1)
$Q_2 = \sigma_m \times a \times \sigma_m / \sqrt{3}$(2)
(1)、(2)の式のうちいずれか小さい方	
② 各種合成鋼造設計指針	
・メカニカルアンカーボルト	
$Q_3 = 0.75 \times 0.6 \times (0.5 \times \sigma_c \times a \times \sqrt{F_c \times E_c})$(3)
・鉄筋アンカーボルト	
$Q_4 = 1.0 \times 0.7 \times \sigma_y \times \sigma_c \times a$(4)
・預付きアンカーボルト	
$Q_5 = 0.6 \times 0.5 \times \sigma_c \times a \times \sqrt{F_c \times E_c}$(5)
ここで、 σ_y : アンカーボルトの降伏点強度 (kg/cm ²)	
$\sigma_c \times a$: アンカーボルト1本当たりのせん断部断面積 (cm ²)	
σ_m : アンカーボルトの引張強度 (kg/cm ²)	
F_c : 既存構体のコンクリートの圧縮強度 (kg/cm ²)	
E_c : 既存構体のコンクリートのヤング係数 (kg/cm ²)	

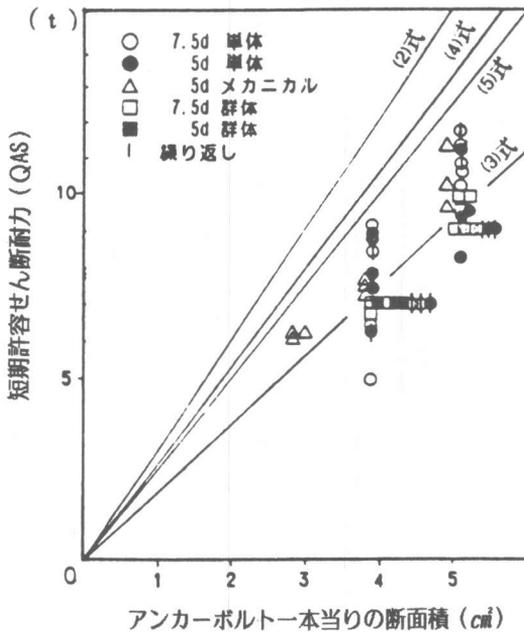


図-9 各種設計せん断設計式と限界変形時耐力 (QAS) との関係

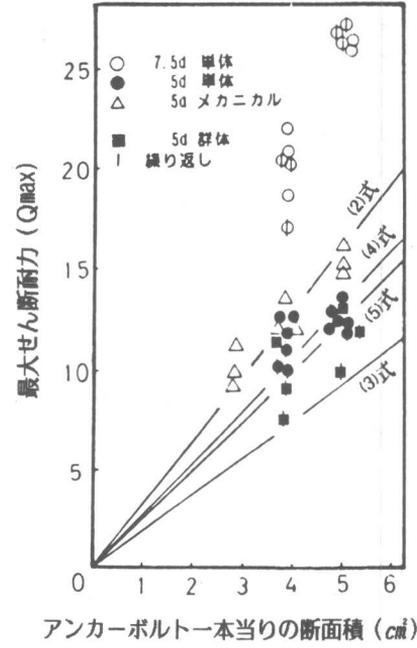


図-10 各種設計せん断設計式と最大耐力 (Qmax) との関係

- (1) 各試験体の荷重-変形関係は、比例限界が比較的小さく、最大耐力時には15~60mm程度の水平変形を生じた。
- (2) 各変動因子の内、最大耐力時の平均せん断応力 (τ_{max}) に対して大きな影響を及ぼすものは埋込み深さであり、その他の因子の影響はあまり大きくなかった。
- D22, 埋込み深さ5d試験体で多少繰返しによる耐力低下がみられるものの、その他の試験体では加力方法による差はほとんど認められない。
 - 樹脂アンカーの場合、D22とD25程度の径の違いであるならば、最大耐力時の平均せん断応力 (τ_{max}) への影響はほとんどない。
 - 同じ埋込み深さ5dとした樹脂アンカーとメカニカルアンカーとの τ_{max} は、径25mmの場合、メカニカルアンカーの方が全体的に 1.1倍程度大きいものの、径22mmの場合には、両者にほとんど差は認められない。
 - 埋込み深さ5dの場合には、単体と群体試験体との τ_{max} にあまり大きな差は認められない。
 - 単体の場合、 τ_{max} に及ぼす埋込み深さの影響が大きく表われている。
- アンカーの設計に関して、最大耐力では埋込み深さ7.5d以上が確保されていればいずれの指針式でも安全側に評価できる。しかし、最大耐力時のすべり変形量は、いずれも非常に大きいので、実際の設計ではこのことを考慮の上、耐力を適宜低減して評価する必要がある。

[謝 辞] 本実験の実施に当り御協力頂いた建設省建築研究所 遠藤 浩氏、およびその後の資料整理などでも御協力頂いた日本工業大学学生 法貴 慶人、堀籠 英古の両氏に感謝いたします。

[参考文献] 1. 日本建築防災協会；既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針，1977年
 2. 日本建築学会；各種合成構造設計指針，1985年
 3. 北後・斉藤・大坪；アンカーボルト比較試験，コンクリート工学，1984年 7月