

論文

[2158] スティールファイバーを添加した拡底型樹脂アンカーのせん断に関する実験的研究

正会員○秋山友昭 (東京ソイルリサーチ)
 正会員 山本泰稔 (芝浦工業大学建築学科)
 正会員 広沢雅也 (建設省建築研究所)
 正会員 竹内正博 (産機興業)

1. はじめに

耐震補強工事や建築構造部の増改築工事には、あと施工アンカー (以下、アンカーという) が主要接合部に用いられる。特に、耐震補強に用いられるアンカーには、主としてそのせん断抵抗が期待される。このアンカーとしては、従来から金属拡張アンカーが多用されてきたが、最近では樹脂アンカーも多く用いられるようになっており、今度改訂された耐震改修設計指針では、接着系アンカーとしてカプセル型樹脂アンカーが指針化されている [1]。

樹脂アンカーの引張りにおける抵抗機構は、コンクリートとアンカー周面樹脂との付着抵抗であり、せん断についても樹脂アンカーが多数回の繰返しせん断力を受けた時には付着力の低下により、せん断抵抗性能の低下が懸念される。

今度、従来からの樹脂アンカーに対して、アンカー固着力の強化を計るためにスティールファイバーを添加した樹脂アンカー、およびこれを拡底させ、くさび効果も期待させた樹脂アンカーが考案された。このような樹脂アンカーでは、従来のものに対して、引張性能の向上と共に、せん断性能の向上も期待されている。

本実験は、これら樹脂アンカーについて、ファイバーの添加、拡底の有無によるせん断性能の違いを確かめることを主目的として行うものであるが、同時に樹脂アンカーのせん断性能に及ぼすアンカー埋込み長さ、加力方法、同時に加力するアンカー本数などの影響を確かめることも目的としている。

2. 試験体

樹脂アンカー試験体は、合計60体である (表1参照)。これらの内、単体9体が、不飽和ポリエステル樹脂を使用したカプセル型樹脂アンカー試験体 (Rタイプ)、群体 (3本組) 3体及び単体9体がRタイプにスティールファイバーを添加したカプセル型樹脂アンカー試験体 (RFタイプ)、又群体6体

表1 試験体一覧表

アンカーの種類	アンカー径	埋込み長さ	加力方法	摩擦	試験数	
単体	R	D22	5 da	単調	無	4
			繰返し	無	2	
		8 da	単調	無	3	
	RF	D22	5 da	単調	無	4
			繰返し	無	2	
		8 da	単調	無	3	
	RFU	D22	4 da	単調	無	3
			5 da	単調	有	4
			繰返し	無	3	
		12 da	5 da	繰返し	無	2
			繰返し	無	2	
			繰返し	無	4	
D13	5 da	単調	無	2		
		繰返し	無	2		
	5 da	単調	有	3		
群体	RF	D22	5 da	繰返し	無	4
			繰返し	無	3	
	RFU	D22	8 da	繰返し	無	3
5 da			繰返し	無	3	

表2 コンクリートの性質 (空中養生)

	単位重量 γ (t/m ³)	圧縮強度 σ (kgf/cm ²)	弾性係数 E (×10 ⁵ kgf/cm ²)
1 週	2.26	146	-
2 週	2.24	183	-
実験時	2.25	210	2.18

表3 アンカー筋の性質

	断面積 A _s (cm ²)	降伏点強度 σ_y (kgf/cm ²)	最大強度 σ_{max} (kgf/cm ²)
D22	3.87	4167	6133
D13	1.27	3780	4961

表4 モルタルの性質 (空中養生)

	単位重量 γ (t/m ³)	圧縮強度 σ (kgf/cm ²)	弾性係数 E (×10 ⁵ kgf/cm ²)
実験前	2.18	479	2.15
実験後	2.13	529	2.20

(実験前: 材令6日, 実験後: 材令42日)

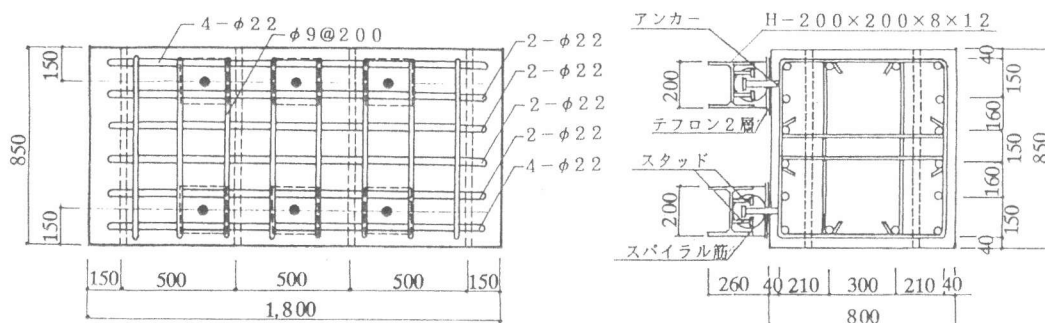


図1 母材コンクリート及びアンカー定着位置

及び単体33体がRFタイプを拡底させた試験体(RFUタイプ)である。これらの樹脂アンカー試験体は、既存建物の梁を想定して作製した母材コンクリートの端から150mm内側の位置に打設している(図1参照)。図2に樹脂アンカーの母材コンクリートへの定着方法を示す。本実験では鉄骨枠付補強架構での接合部に用いるアンカーを想定しており、アンカー頭部(出しろ部分)では、図3に示すように、H-200x200x8x12の鋼材を鉄骨枠として、この中にスパイラル筋(D10-φ125@50)を配した後に、無収縮モルタルを圧入している。樹脂アンカー試験体のせん断面となる無収縮モルタルと母材コンクリートとの界面は、摩擦なし試験体で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ている。これに対して摩擦有り試験体では、母材コンクリート面を目荒しし、アンカーと共に無収縮モルタルとコンクリートとの付着によってもせん断力が伝わるようにしている。これら試験体に使用した材料の力学的性質の内、表2にコンクリートの性質を、表3にアンカー筋の性質を、又表4に無収縮モルタルの性質を示す。なお母材コンクリートは、既存の補強建物を対象として設計基準強度 $F_c = 180\text{kg}/\text{cm}^2$ として、調合している。

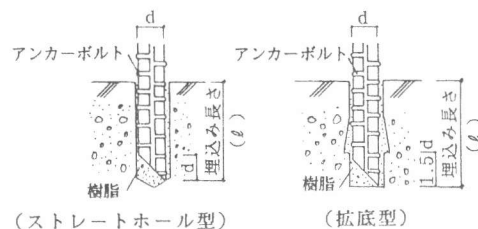
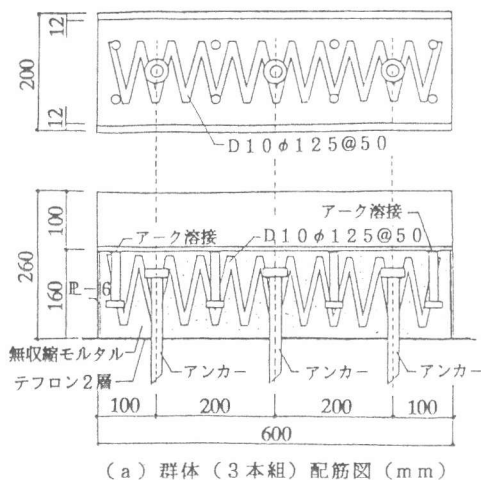
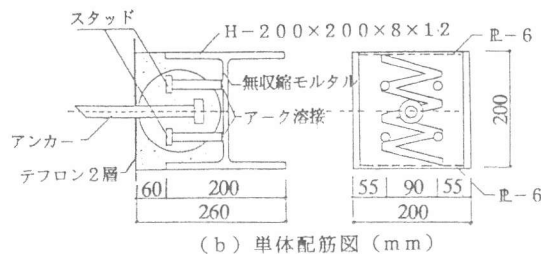


図2 樹脂アンカーの定着方法



(a) 群体(3本組)配筋図(mm)



(b) 単体配筋図(mm)

図3 樹脂アンカー試験体

3. 実験概要

樹脂アンカー試験体への加力は、鉄骨反力フレームに取付けた容量70tonの油圧ジャッキにより、鉄骨加力ビームを介して行った(図4参照)。この時、アンカー試験体にはせん断力だけが加わるように、ジャッキ芯と母材コンクリート面に接するアンカー試験体のせん断面とが同一面にな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。この内、正負繰返し加力では水平変形0.75cm(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壁などを剛体と仮定し、これが最大耐力に達する時の変形に近い値を部材角1/200として算定した値で、この時の荷重を限界荷重とよぶ)で5回繰返した後、正側に押切

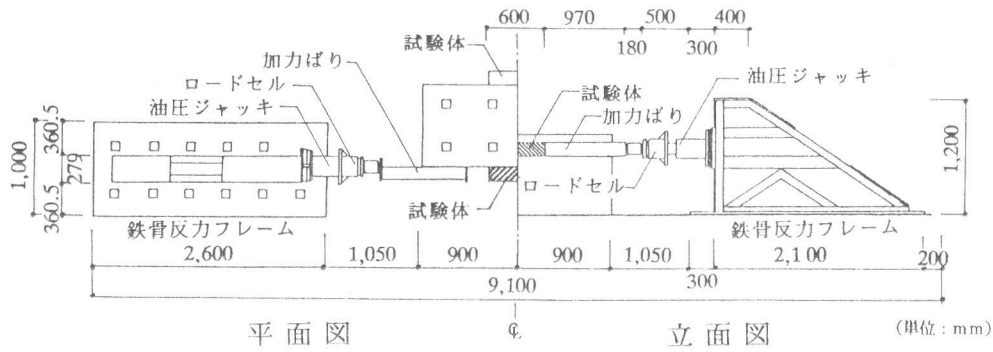


図4 加力装置

るという荷重履歴を採用した。荷重は、ジャッキと加力ばりとの間に挿入したロードセルにより測定した。変形は、水平及び上下方向について、変位計により測定した。なお、水平変形は、アンカー試験体のせん断面より 2cm 程度上で測定した。

4. 実験結果及び考察

4.1 最大荷重とその時の変形との関係

図5にアンカー1本当りの最大荷重とその時の変形との関係を示す。5d埋込み摩擦有り試験体では、最大荷重時変形はいずれも 2mm 程度と小さいが、他の各試験体では最大荷重の増大と共にその時の変位も増大する傾向にある。これら試験体の最大荷重は、12d 摩擦なし試験体1体がアンカー頭部無収縮モルタル圧壊、12d 摩擦有りの2試験体がアンカー筋の破断、そして5d摩擦有りの2試験体がせん断面の付着が切れたことにより決まった他は、すべての試験体が母材コンクリートのせん断破壊により決定している(図6参照)。

そこで、母材コンクリートのせん断破壊により最大荷重が決定した試験体について最大荷重 (Q_{max}) とその時の変形 (δ) との相関関係を検討した。この結果、 Q_{max} と δ との間に比較的大きな相関関係(相関係数 $r=0.90$) のあることがわかった。

4.2 荷重-変形性状

図7にアンカーの各タイプ単調加力試験体より得られた代表的荷重-変形曲線を示す。各試験体とも 6~7ton 程度まで弾性的挙動を示すがその後水平変形の増大につれて荷重が暫増し、5d埋込み試験体では 20mm 程度、又 8d埋込み試験体では 40mm 程度で最大荷

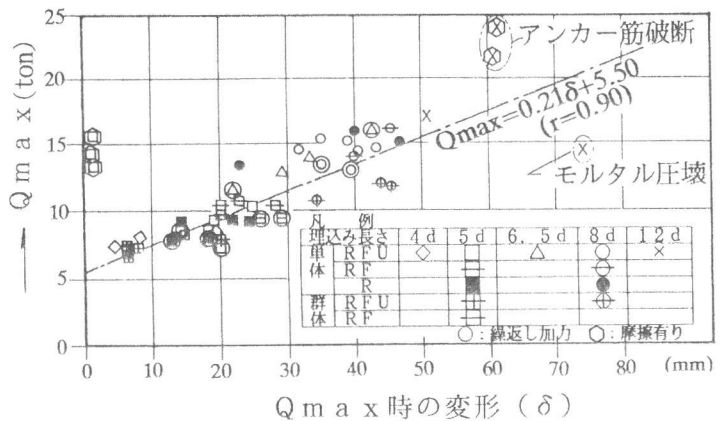


図5 最大荷重とその時の変形との関係

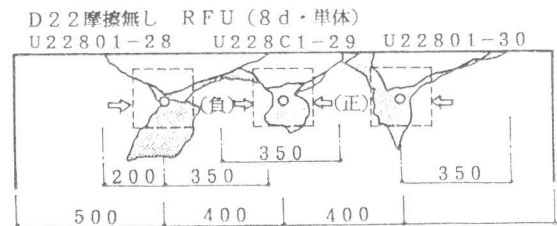


図6 代表的な母材コンクリートの破壊状況(接合面)

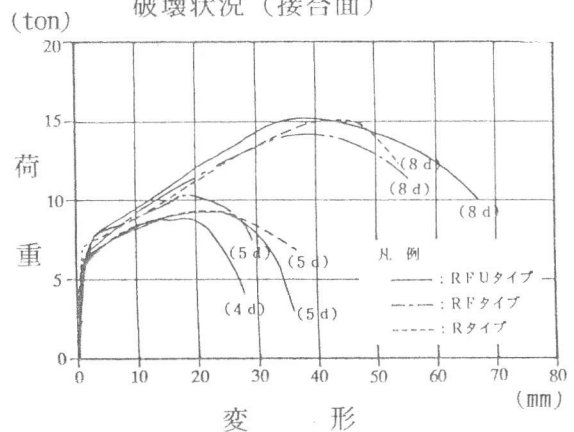


図7 代表的な荷重-変形曲線

重に達している。なお、荷重-変形曲線の上からは、アンカータイプによる差はほとんど認められない。図8に埋込み長さの異なる代表的なRFU (D22) 試験体の荷重-変形曲線を示す。4・5d埋込み試験体では6ton程度まで、6.5~12d埋込み試験体では7ton程度まで弾性的挙動を示すが、その後変形の増大と共に荷重が暫増し、最大荷重に達する。図9に繰返し加力の有無による試験体の荷重-変形曲線を比較して示す。各試験体共に繰返し加力による耐力低下が荷重-変形曲線の上から顕著に認められる。又5d埋込み単調加力の各試験体では20mm程度で最大荷重に達しているのに対して、繰返し加力試験体では7.5~25mm程度にバラツキが見られる。

以上の荷重-変形曲線より、単体単調加力試験体の荷重-変形曲線をモデル化して図10に示す。弾性剛性 (K_1) はアンカー種類・埋込み長さ (l) にかかわらず、ほぼ50 ton/cm程度であるが、せん断降伏荷重 (Q_y) 及びその後の降伏剛性 (K_2) にはアンカー埋込み長さが影響している。すなわち $l = 5d$ では $Q_y = 6.2 \sim 6.3$ ton程度で $K_2 = 1.8 \sim 2.1$ ton/cmとなり、約20mmの変形で最大荷重に達する。これに対して $l = 6.5 \sim 12d$ のものでは $Q_y = 7.3 \sim 7.4$ ton程度で $K_2 = 2.2 \sim 2.5$ ton/cmとなり、 $l = 6.5d$ では約30mm、 $l = 8d$ では約40mm、又、 $l = 12d$ では約50mmの水平変形で最大荷重に達する。なお、使用したアンカー筋 (D22) の長期許容せん断耐力 ($A_s \cdot \sigma_y / 1.5 / \sqrt{3}$) は、6.21tonであり、5d埋込みの場合の Q_y にほぼ等しい。

図11及び12にコンクリート目荒しによりせん断面に付着を期待させた摩擦有り試験体と、この面での付着を切った摩擦なし試験体との代表的な荷重-変形曲線を比較して、5d埋込み試験体、12d埋込み試験体についてそれぞれ示している。5d埋込み摩擦なし試験体ではほぼ6tonから変形が増大し、変形20~25mm程度で最大荷重に達する。これに対して摩擦有り試験体では2mm程度で最大荷重に達した後、コンクリートとモルタルとの付着が切れ、急激な荷重の低下と共に変形が増大し、摩擦なし試験体の最大荷重付近に向う。これは、コンクリートとモルタルで負担していた付着力がすべてアンカー筋に伝わり、5d埋込み摩擦なし試験体の最大荷重以上の荷重を負担したことから、急激な耐力低下が生じたものと推定される。12d埋込み摩擦なし試験体では7tonすぎから荷重の暫増と共に変形が増大し、50mm程度の変形

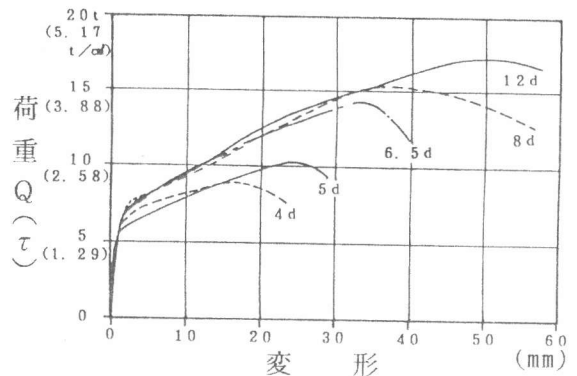


図8 RFU (D22) 試験体の荷重-変形曲線

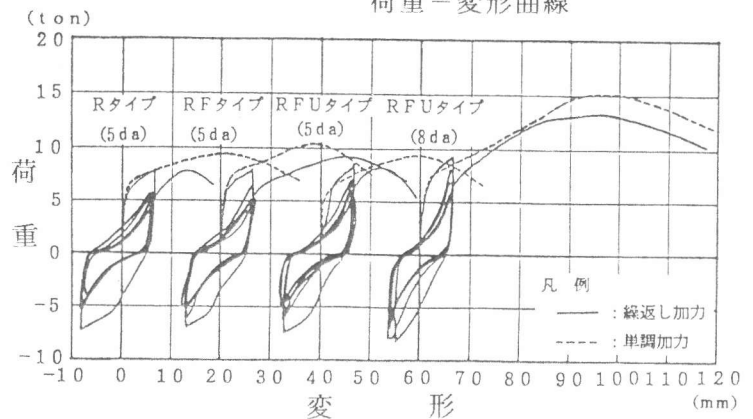


図9 荷重-変形曲線 (繰返し加力の有無)

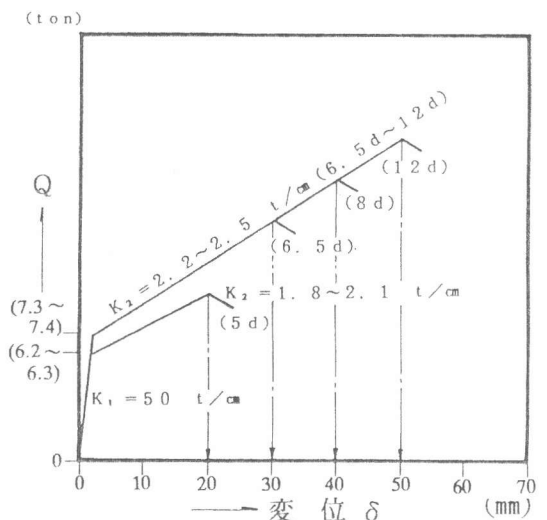


図10 荷重-変形性能の概念図

図11及び12にコンクリート目荒しによりせん断面に付着を期待させた摩擦有り試験体と、この面での付着を切った摩擦なし試験体との代表的な荷重-変形曲線を比較して、5d埋込み試験体、12d埋込み試験体についてそれぞれ示している。5d埋込み摩擦なし試験体ではほぼ6tonから変形が増大し、変形20~25mm程度で最大荷重に達する。これに対して摩擦有り試験体では2mm程度で最大荷重に達した後、コンクリートとモルタルとの付着が切れ、急激な荷重の低下と共に変形が増大し、摩擦なし試験体の最大荷重付近に向う。これは、コンクリートとモルタルで負担していた付着力がすべてアンカー筋に伝わり、5d埋込み摩擦なし試験体の最大荷重以上の荷重を負担したことから、急激な耐力低下が生じたものと推定される。12d埋込み摩擦なし試験体では7tonすぎから荷重の暫増と共に変形が増大し、50mm程度の変形

で、コンクリート母材のせん断破壊により最大荷重に達している。一方、摩擦有りでは1 mm程度で一度耐力が19ton まで上昇した後、コンクリートとモルタルとの付着が切れ15.5ton 程度に荷重が低下するが、その後せん断荷重をすべてアンカー筋が受けもち、最終的には変形60mm程度でアンカー筋の破断により最大荷重に達している。12d埋込み 2試験体の最大荷重及びその時の変形量のこのような差は、アンカーの破壊性状の違いによるものである。

なお、これらの試験結果より判断されるコンクリートとモルタルとの付着強度は、大概3.0~3.5ton ($\tau = 7.5 \sim 8.75 \text{ kg/cm}^2$) 程度と考えられる。

4. 3 最大荷重及び限界荷重に及ぼす影響因子

図13に最大荷重とアンカータイプとの関係を示す。5d埋込み単体試験体では単調、繰返し加力ともRFタイプ試験体の最大荷重が、R・RFUタイプ試験体のそれに比べて10%程度大きい。又、群体系験体についてもRFタイプの最大荷重がRFUタイプのそれに比べて多少大きい。これに対して、8d埋込み単体試験体ではアンカータイプによる最大荷重への影響はほとんど認められない。このように埋込み長さの比較的短い所では最大荷重にスティールファイバー添加の効果が多少表われているが、拮底させた効果はほとんど認められない。この原因としては、拮底部が埋込み底から1.5d上部に設けられていることにより、特に埋込み長さの短いものではその効果が十分に得られなかったものと考えられる。

図14に、最大荷重 (Q_{max}) とアンカー埋込み長さ (l) との関係を示す。 l の増大と共に最大荷重も増大しており、最大荷重はD22 5d 埋込み試験体に対して6.5d及び8d埋込みのものでは約 1.8倍、12d埋込みのものでは約2.0倍になっている。群体系験体の最大荷重は単体試験体(繰返し加力)の Q_{max} に対して、5d、8d埋込みとも90%程度に低下している。図の中に Q_{max} と l とを回帰分析して得

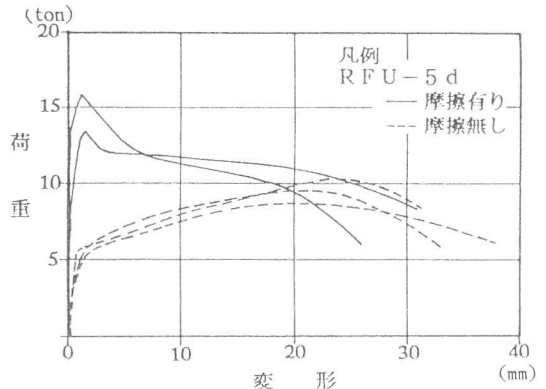


図11 D22 (5d) 試験体の荷重-変形曲線

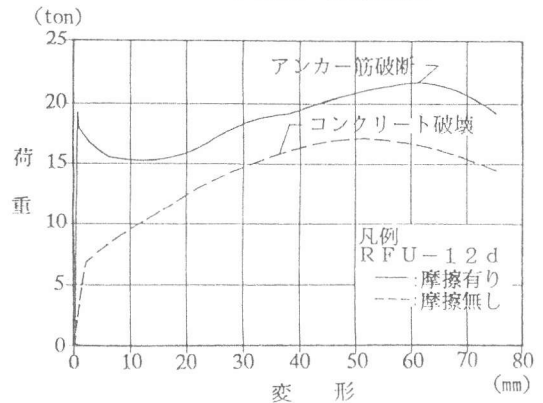


図12 D22 (12d) 試験体の荷重-変形曲線

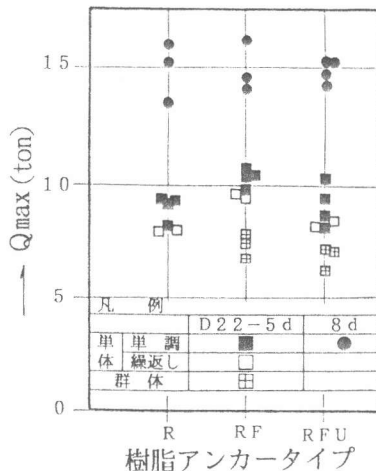


図13 最大荷重 (Q_{max}) と樹脂アンカータイプとの関係

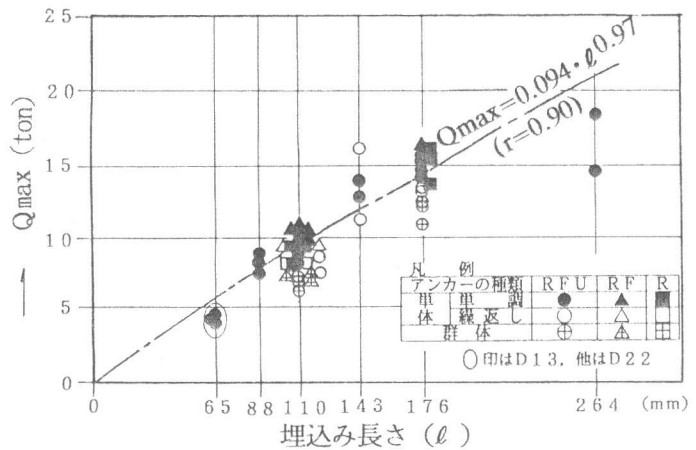


図14 最大荷重 (Q_{max}) と埋込み長さ (l) との関係

られた式を示す。この式の相関係数は $r = 0.90$ であることから Q_{max} と ℓ とは相当大きな相関関係にあることがわかる。

図15に限界荷重 (Q_a) とアンカー埋込み長さ (ℓ) との関係を示す。D22 4d 及び5d埋込み試験体では6.5d~12d埋込み試験体に比べて Q_a が若干小さいものの、全体的には Q_a に及ぼすアンカー埋込み長さの影響はほとんどなくなっている。これは、図10に示したように、変形が比較的小さい所では、各試験体の荷重-変形性状にあまり差がないことを表している。

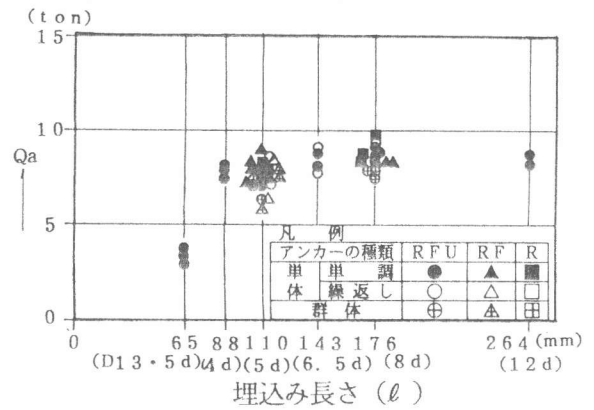


図15 限界荷重 (Q_a) と埋込み長さ (ℓ) との関係

5. まとめ

主としてスティールファイバーを添加した拡底型樹脂アンカーのせん断実験を行った結果について、以下にまとめた。

- (1) ほとんどの摩擦なし試験体の破壊性状は母材コンクリートせん断破壊であった。また、最大荷重とその時の変形とに比較的大きな相関性が認められる。
- (2) 最大荷重に対して次のような因子が影響している。
 - a. せん断面におけるコンクリートとモルタルとの付着の影響は比較的大きく、特に埋込み長さが比較的小さい (5d) 場合、最大荷重は付着効果が最大に発揮された変形の小さいところ (約 2mm) で得られる。これに対して、埋込み長さを十分に長く採った場合 (12d) には最大荷重は付着が切れた後の変形が比較的大きな所 (約60mm) で得られる。なお、コンクリートとモルタルとの付着強度は $\tau = 7.5 \sim 8.75 \text{ kg/cm}^2$ 程度と推定される。
 - b. 最大荷重に対して大きな影響を及ぼす因子はアンカー埋込み長さであるが、加力方法及び同時に試験するアンカー本数についても多少これに影響を及ぼす。
 - c. 最大荷重に対して埋込み長さの短いところ (5d) でスティールファイバー添加の効果が多少認められる。
- (3) 単体単調加力の場合の荷重-変形性状には、降伏荷重及びその後の剛性と、最大荷重時変形に多少埋込み長さによる差が見られるが、弾性剛性はほぼ $K_1 = 50 \text{ t/cm}$ で一定である。なお、埋込み長さ5dの降伏荷重は、アンカー筋の長期許容せん断耐力にほぼ相当する。

謝辞

本実験の実施及び論文のまとめに当たり、色々御助言いただいた建設省建築研究所主任研究員上之蘭隆志氏に感謝致します。実験準備から資料整理まで、(株)東京ソイルリサーチ渋谷力氏、日本工業大学学生星文仁君、山口浩則君及び芝浦工業大学学生鈴木剛君の協力を得ました。

参考文献

- 1) 日本建築防災協会：改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針、1990年
- 2) 日本建築学会：各種合成構造設計指針、1985年
- 3) 秋山友昭ほか：太径樹脂アンカーのせん断実験、コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 10, No. 3, p69~74, 1988.6