

[2027] 引張・せん断組合せ荷重下でのあと施工アンカーボルトの耐荷性状

堀口博明^{*1}・丸山久一^{*2}・堀内友雅^{*3}・北田義夫^{*4}

1.はじめに

実構造物におけるあと施工アンカーを検討する場合、純引張、純せん断性状だけでなく、引張とせん断の組合せ荷重下での性状も明らかにしておく必要がある。破壊モードがコンクリートに支配される引張耐力の算定については、FEM解析などにより破壊メカニズムの解明が進んでおり、精度の良い耐力算定式が各種提案されている[1]。しかし、せん断力を受ける場合、あるいは組合せ荷重を受ける場合では、合理的な耐力算定手法は確立されていない。

そこで本研究では、アンカーボルトに作用する荷重の種類が、耐荷性状にどの様な影響を与えるのか、また、アンカーの定着機構の違いによる耐荷性状への影響を比較検討することとした。あと施工アンカーの種類として、樹脂接着型(RE)、金属拡張型(EX)、アンダーカット型(UC)アンカーを用い、引張・せん断・組合せ荷重試験を行い、それぞれの荷重下でのアンカーの挙動を実験的に調べ、耐荷性状を比較検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体

本研究で用いた、樹脂接着型、金属拡張型(コーンナット式)、アンダーカット型の3種類のあと施工アンカーの形状を図-1に示す。ボルトサイズはM16とし、埋め込み深さ、締め付けトルク等は各製品の規定の値とした。アンカーボルトの諸元を表-1に示す。

母材コンクリートは、呼び強度300kgf/cm²、最大骨材寸法25mm、設計スランプ10cmの早強ポルトランドセメントを用いたレディーミキストコンクリートである。なお、試験時のコンクリート強度は、f'c=315、ならびに356kgf/cm²であった。

表-1 供試体諸元

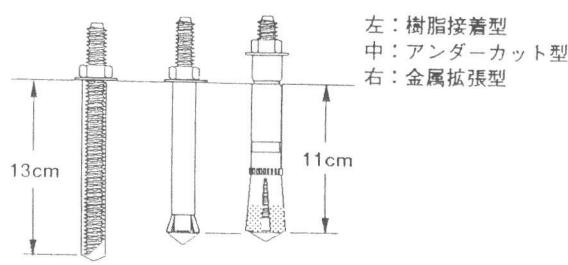


図-1 アンカーボルト形状

	接着系	メカニカル系	
	R E	U C	E X
鋼材強度区分	SS400	8.8 ISO 898 T1	
降伏応力(kgf/mm ²)	36.0	82.2	97.9
破断応力(kgf/mm ²)	56.1	93.6	107.5
ヤング係数(*10 ⁶ kgf/cm ²)	2.10	2.12	1.94
ボルト径	M16		
埋込み深さ(cm)	13.0	11.0	11.0
有効断面積(cm ²)	1.57*		
締付けトルク(kgfcm)	-	1200	1200

*せん断、組合せ荷重の場合、EXタイプはスリープを考慮すると3.37cm²。

*1 長岡技術科学大学大学院 工学研究科建設工学専攻（正会員）

*2 長岡技術科学大学教授 工学部建設系 Ph.D.（正会員）

*3 東京電力㈱ 工修（正会員）

*4 ㈱東芝 原子力プラント技術部

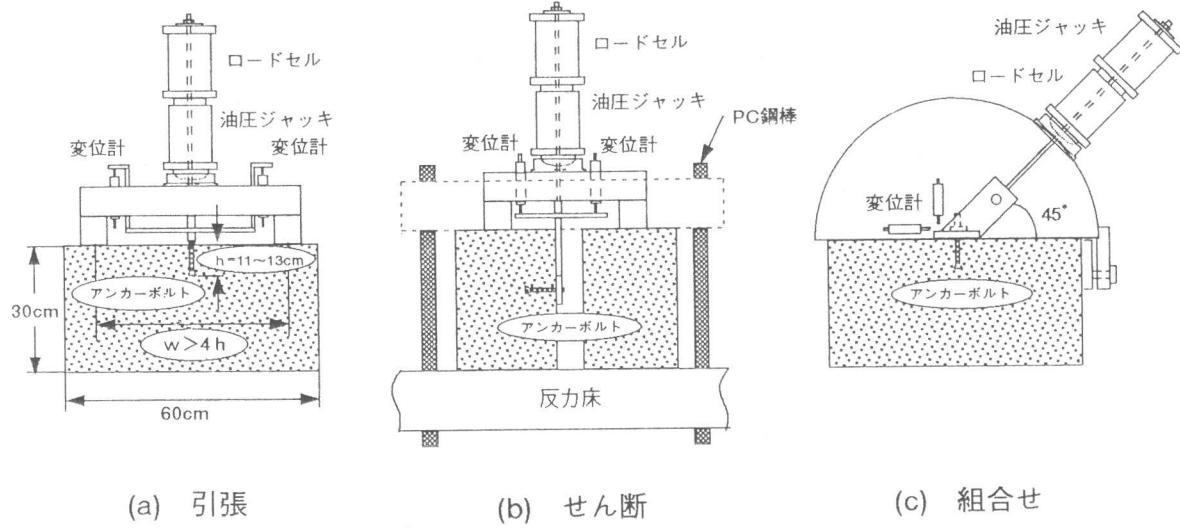


図-2 試験装置概要図

2.2 載荷方法

載荷は、図-2に示すような試験装置を用いて行った。アンカーボルトへの載荷は、センターホール型油圧ジャッキを用いて行い、荷重は20tfロードセルにより検出した。また、変位はひずみ変換型変位計より検出し、各データは、動ひずみ計、A/Dコンバータを介してマイクロコンピュータに収録した。

引張試験において、反力の位置をコーン破壊の影響を考慮してボルト中心から埋め込み深さの2倍程度（約25cm）離すこととした。せん断試験時には、コンクリートブロックの浮き上がりを防止するため、PC鋼棒で反力床に固定し、載荷した。また、組合せ荷重試験の加力方向は45°とし、アンカーの変形を正確にとらえるために、鉛直方向に3力所、水平方向に1力所変位計を設置して変位の測定を行った。

3. 実験結果

表-2に本研究で行った実験結果の一覧を示す。

3.1 破壊形式

引張試験においては、樹脂接着型は全てボルト破断を示し、ボルトの引き抜けによる破壊や、引き抜けとコーン破壊の複合破壊[2]は生じなかった。一方、金属拡張型、アンダーカット型はボルトの強度が高いために、コンクリートのコーン状破壊を示した。

それぞれの破壊断面を図-3に示す。

アンダーカット型のコーン状破壊の破壊断面は、これまでの研究[3]で確認されているように、載荷初期はアンカーボルト先端の拡開部から45~60°の角度でひび割れが発生・発達し、その後荷重の増加と共にひび割れ角度は30~40°の角度で発達し、最大荷重以降では更に緩やかな角度でコンクリート表面に達した。

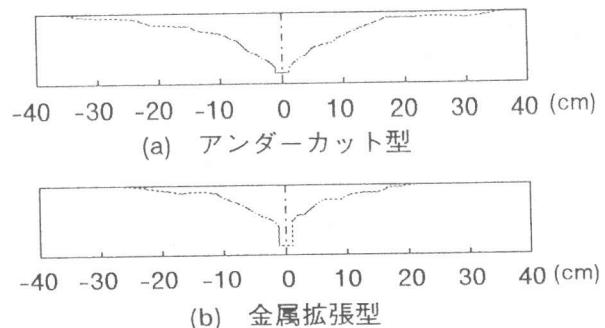


図-3 破壊断面

せん断載荷試験における樹脂接着型及びアンダーカット型は、ボルト破断であったが、金属拡張型は、コンクリートの割裂あるいはボルト近傍のコンクリートの局部圧壊を示した。この理由は、本研究で用いた金属拡張型は肉厚の厚いスリーブ部分もせん断力を負担する構造（図-4）になっているためである。

組合せ載荷試験では、引張力の方向はボルト軸と45°の角度を成す方向であったが、図-5に示すように変位の方向は水平変位方向が卓越していた。従って、金属拡張型はせん断載荷試験と同様にボルト破断ではなく、コンクリートのコーン状破壊となった。

表-2 実験結果一覧表

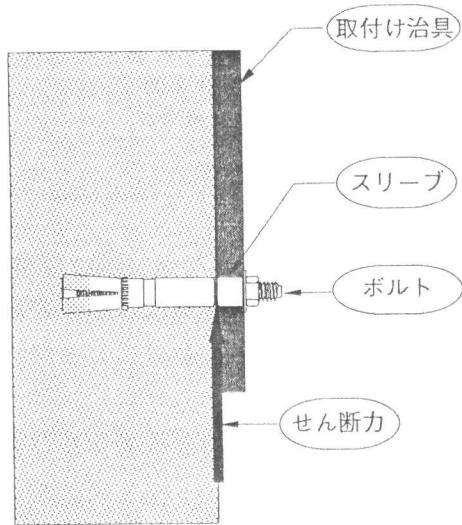


図-4 せん断試験における
金属拡張型

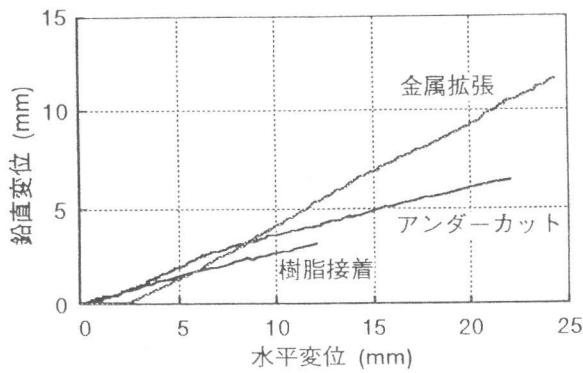


図-5 組合せ載荷重下(45°)のアンカーボルトの引き抜け角度

試験種類及び供試体番号	最大耐力 (tf)	最大耐力時変位 (mm)	$f_c' \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	破壊モード
引張試験	RE1	8.19	3.70	ボルト破断
	RE2	8.12	2.10	"
	RE3	8.11	3.90	"
	平均	8.14	3.23	
	UC1	8.56	4.50	コーン状破壊
	UC2	7.47	4.30	コーン+割裂
	UC3	8.33	7.65	コーン状破壊
	平均	8.12	5.48	
	EX1	10.24	1.75	コーン状破壊
せん断試験	EX2	10.13	2.40	"
	EX3	9.62	2.60	"
	平均	10.00	2.25	
	RE1	5.18	9.90	ボルト破断
	RE2	5.47	9.75	"
	RE3	5.25	10.25	315 (29.1)
	RE4	5.50	10.60	"
	平均	5.35	10.13	
	UC1	10.04	11.05	ボルト破断
組合せ載荷試験	UC2	8.23	14.50	"
	UC3	8.86	14.95	"
	平均	9.04	13.50	
	EX1	9.96	7.05	割裂
	EX2	12.32	21.85	圧壊
	EX3	12.11	13.85	割裂
	平均	11.46	14.25	
	RE1	5.93	15.42	ボルト破断
	RE2	6.48	12.50	"
	RE3	6.32	11.29	"
	平均	6.24	13.07	
	UC1	9.67	23.18	ボルト破断
	UC2	9.97	22.95	"
	UC3	9.97	22.09	"
	平均	9.87	22.74	
	EX1	13.95	-	圧壊
	EX2	12.94	25.76	コーン状破壊
	EX3	12.39	31.00	"
	平均	13.09	28.38	

RE : 樹脂接着型

UC : アンダーカット型

EX : 金属拡張型

() 内は引張強度

3.2 荷重-変位関係

図-6に、3種類のボルトについて3方向の載荷試験における荷重-変位の関係を示す。

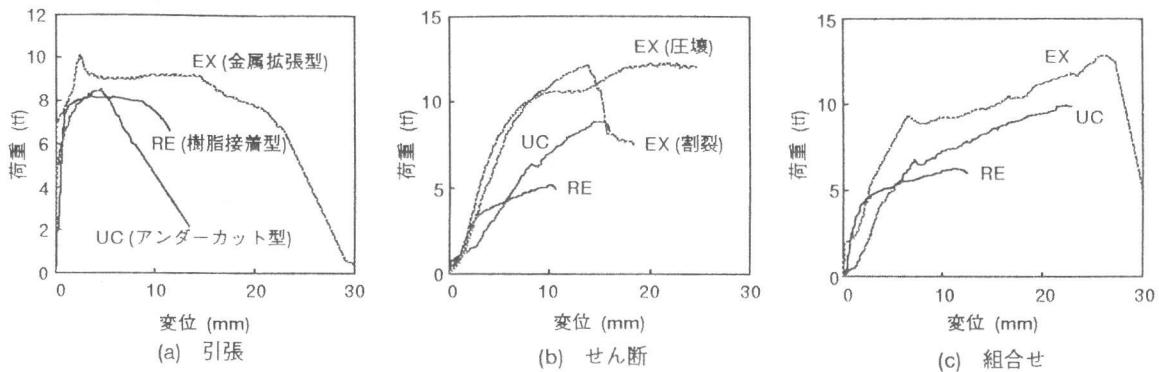


図-6 荷重-変位曲線の一例

引張試験においては、これまで述べられている[2,3,4]ように、何れのアンカーも高い初期剛性を示し、最大耐力に達した後ボルト破断する樹脂接着型は、比較的変形の大きな性状を示す。一方、アンダーカット型はコーン破壊するため、最大耐力に達した後はボルトの抜け出しを伴うためコーン破壊するまでの変位が大きくなっていることを示している。

せん断試験においては、ボルトの性状が支配的である載荷初期に於いては、樹脂接着型及び金属拡張型は、ほぼ同様な性状を示す。ただし、アンダーカット型は、孔径とボルト径との差が大きいため比較的大きな変位を示す。樹脂接着型のボルトはSS400のため、降伏現象を示している。金属拡張型はスリーブもせん断力を負担するため、ボルトは破断せずコンクリートが割裂あるいは局部圧壊となるため変位の増加がある。

組合せ試験での変位は、水平方向および鉛直方向変位を45°方向に合成した変位を図示した。図-7には水平および鉛直方向の荷重-変位曲線の一例を、また、図-8には各変位計設置点での荷重-変位曲線の一例を示す。樹脂接着型は、純せん断より大きな荷重でボルトが降伏に至っているが、最終的にはボルトの破断で終局に至っている。アンダーカット型は純せん断と異なり、ボルト近傍のコンクリートの局部圧壊を伴っていて、大きな変位を示した後ボルト破断した。金属拡張型は、せん断試験と同様な性状を示した。

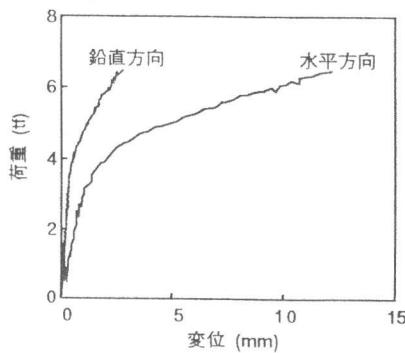


図-7 荷重-変位曲線
(樹脂接着型)

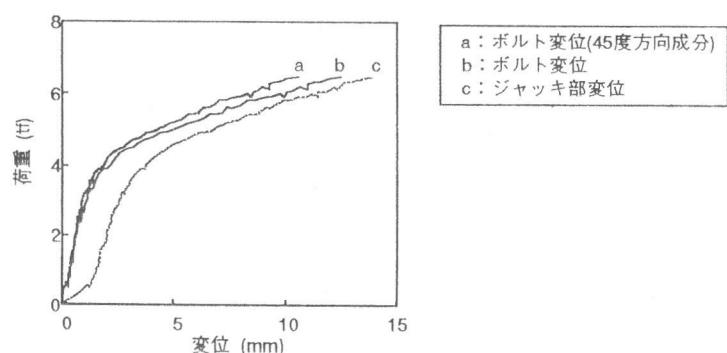


図-8 荷重-変位曲線比較図
(樹脂接着型)

3.3 最大耐力

図-9に各破壊形式における最大耐力の実験値（平均値）を計算値と比較して示す。アンダーカット型、金属拡張型の引張耐力算定式として、丸山・森山の式[1]を、また樹脂接着型の引張耐力、及び全てのアンカーのせん断耐力の算定式として、日本建築防災協会の式[5]を用いた。組合せ荷重下の耐荷力については日本建築学会[6]と同様に評価した。

丸山・森山の式（引張）

$$P_{max} = 18f_t(0.9h + 0.1h^2) \quad (\text{コーン破壊}) \quad (1)$$

日本建築学会の式（組合せ載荷）

$$(P/P_u)^2 + (V/V_u)^2 = 1 \quad (2)$$

ここで、 f_t :引張強度(kgf/cm^2)、 h :埋め込み深さ(cm)

P :引張耐力、 P_u :引張耐力算定値、 V :せん断耐力、 V_u :せん断耐力算定値

引張試験において、日本建築防災協会の算定式は、かなり安全側の算定結果となっている。一方、丸山・森山の式は、実験算定式であるが故に実験値との適合性は良好である。

また、せん断試験および組合せ試験においては、いずれの算定式もかなり安全側に評価している。

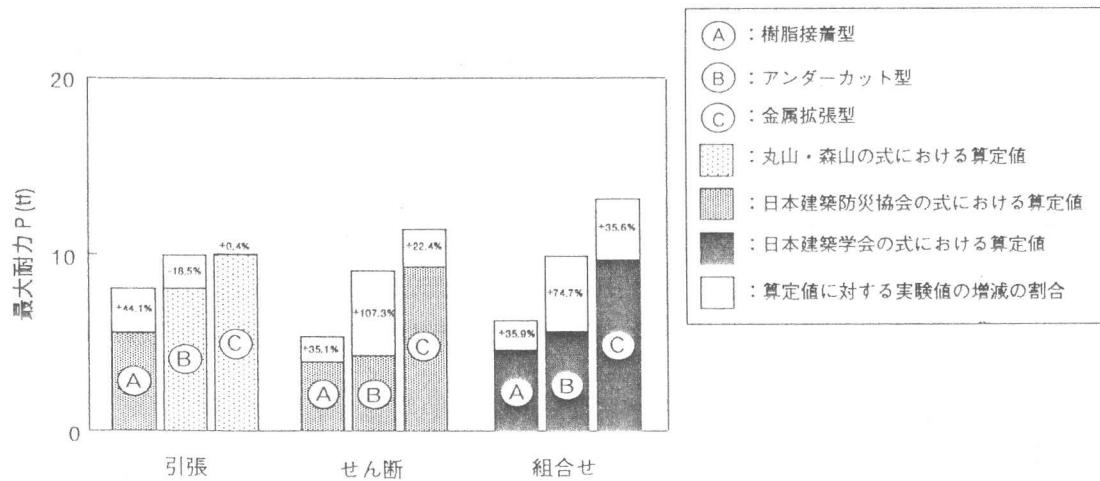


図-9 最大耐力の比較

また、図-10に引張・せん断を含めた組合せ荷重を受ける場合のアンカーボルトの最大耐力を示す。耐力比は、ボルト材の破断強度（実測値）を100とした時の各方向の最大耐力の割合である。鋼材の降伏条件は、一般にVon Misesの条件で与えられるのでこれを破壊時まで拡張できるとして図中に示した。樹脂接着型においては、全てボルト破断しているので最大耐力は鋼材の性質に大きく依存しており、Mises条件での耐力評価が可能である。

一方、コンクリートが破壊する場合については、鋼材の破断基準とは大きく異なっており、せん断方向が高い値を示している。これは、引張荷重に対してはコンクリートは引張強度で破壊するが、ボルト軸からの載荷方向の傾きが大きくなるとコンクリートの圧壊、すなわち、圧縮強度で破壊するためであると考えられる。

従って、ボルト軸に対する載荷方向の傾きが大きくなるにつれて、コンクリートの破壊モードがコーン破壊から圧壊へ変化しコンクリートの破壊耐力は増加するが、鋼材の破壊強度はMisesの条件によって低下するので、よりボルト破断しやすくなる。

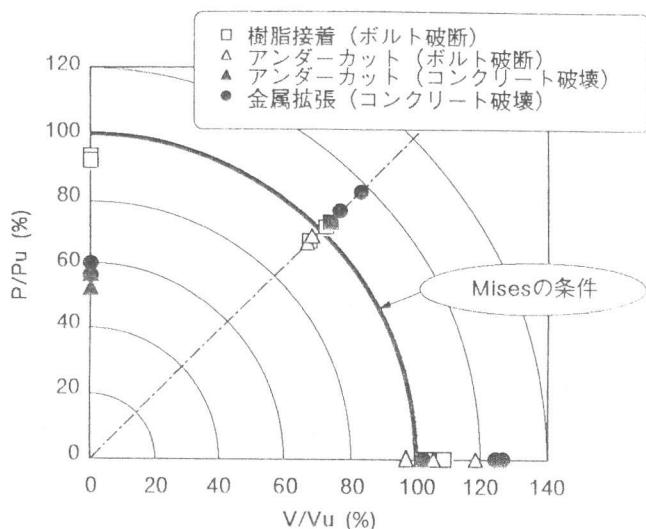


図-10 組合せ荷重下での最大耐力

4.まとめ

- (1) あと施工アンカーボルトにせん断力が作用する場合には、コンクリートの局部支圧の影響が大きいためか、引張剛性に比べ、せん断剛性は小さくなる。
- (2) 引張とせん断の組合せ荷重の場合においても、変形性状にはせん断の低剛性が卓越して現れる。
- (3) 荷重の種類によって破壊モードが変わらず、ボルト破断の場合には、Von Misesの破壊条件が適用できる。

[謝辞]

本研究の遂行にあたり、東芝プラント建設㈱の新井克巳氏、石井正俊氏、ならびに吉田進氏には供試ボルトなどのご支援を頂き、長岡技術科学大学文部技官の中村裕剛氏には多大なご協力を頂きました。ここに、感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 森山智明・丸山久一・清水敬二：あと施工アンカーボルトの引き抜き耐荷機構に関する研究
コンクリート工学年次論文報告集, 13-2, pp.923~928, 1991
- 2) 松崎育弘・川瀬清孝・永田守正・丹波亮：樹脂アンカーの支持機構に関する実験研究
コンクリート工学年次論文報告集, 6, pp.393~396, 1984
- 3) 百瀬光弘・丸山久一・清水敬二：アンダーカット型アンカーボルトの性状に関する研究
コンクリート工学年次論文報告集, 12-2, pp.801~806, 1990
- 4) 中川和彦：アンカーボルトの設計法の開発、長岡技術科学大学修士論文, 1993.3
- 5) 日本建築防災協会：既存コンクリート構造物の耐震改修指針, 1977.4
- 6) 日本建築学会：各種合成構造設計指針, 1985