

論文

[2029] 各種あと施工アンカーの耐荷性状の比較

中川和彦*1・丸山久一*2・清水敬二*3・真井康雄*4

1. はじめに

あと施工アンカーは、基本的には、コンクリートの穿孔壁面を介してアンカーボルトの引張力をコンクリートに伝達するものであるが、その目的を達成するのに様々な方法があり、多様なアンカーが開発されている。

本研究では、あと施工アンカーのなかで特徴的なアンダーカットアンカー、金属拡張アンカーおよび樹脂接着アンカーを取り上げ、その耐荷機構、耐力算定方法などを検討するものである。各アンカーはそれぞれ独自の思想の基に開発されているので、統一的な比較はできないと思われるが、ここでは、埋め込み深さを6 cmと一定とした場合の各アンカーを比較することとした。

2. 実験概要

2.1 アンカーの種類

本研究で用いたアンカーは、アンダーカットアンカー、金属拡張アンカーおよび樹脂接着アンカーである。アンカーボルトの形状を図-1示すとともに、その諸元を表-1に示す。

ここで取り上げたアンカーは、必ずしも各種類の代表的なものとはいえず、また、製品の設計思想も同一とは限らないのであるが、埋込み深さ(h_{eq})を6 cm、ボルト径をM10にして、各種類6本の試験結果により比較検討することとした。

なお、各アンカーのコンクリート孔壁との固着方法を以下に示す。

- アンダーカットアンカー：スリーブを打ち込むことによりボルト先端の拡開部が開き固着する。しかし、コンクリート孔壁を円錐状に穿孔することによりコンクリートに対し拡張力を加えない。
- 金属拡張アンカー（芯棒打ち込み式）：ボルト頭部の突出した芯棒を打ち込むことによりボルト先端の拡開部が靱き固着する。しかし、コンクリートには拡張力が加わる。
- 樹脂接着アンカー：ボルト表面およびコンクリート孔壁の凹凸に接着剤が食い込み硬化することによって固着する。

2.2 コンクリート部材

コンクリートは、早強セメントを用いたレディーミクストコンクリートとし、諸条件は、最大骨材寸法25 mm、スランプ9 cm、圧縮強度 $f'_c = 37.5 \text{ kgf/cm}^2$ である。である。また、アンカーボルトを埋め込むコンクリートは、3000×600×300 mmのスラブとした。

*1 飛鳥建設株式会社 工修 (正会員)

*2 長岡技術科学大学助教授 工学部建設系 Ph.D. (正会員)

*3 長岡技術科学大学教授 工学部建設系 農博

*4 日本基礎技術株式会社

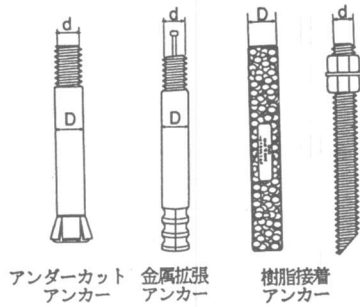


図-1 アンカーボルトの形状

表-1 アンカーボルトの諸元

種類	アンダーカット	金属拡張	樹脂接着
タイプ	ツァイコン	芯棒打込み式	ポリアクリレート系
ボルト材質	8.8 ISO898T1	SUM31L	SNB7
降伏点強度 (kgf/mm ²)	65.3	61.6	65.3
埋込み深さ (mm)	60		
ネジ径 d (mm)	M10		
外径 D (mm)	14	10	10.5
締付トルク (kgf・cm)	400	—	—

2.3 載荷方法

図-2に実験装置の概要を示す。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なった。また、荷重は20tonfロードセルより検出し、変位は、ひずみ変換型変位計より検出して、動ひずみ計、A/Dコンバーターを介してマイクロコンピュータにデータを収録した。

反力位置は、コーン状破壊の影響を考慮して埋め込み深さの2倍以上離すこととした。

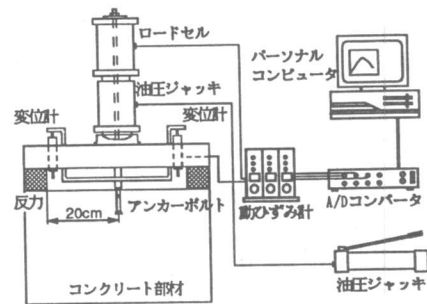


図-2 試験装置概要

3. 実験結果

3.1 破壊断面

図-3 (a), (b)にアンダーカットアンカーおよび樹脂接着アンカーの破壊形状の一例を示す。

アンダーカットアンカーは、全てがコーン状に破壊しており、その形状は、始めに急激な角度で立ち上がり、すぐに穏やかな角度になり、表面付近ではさらに角度が緩やかになっている [1]。

樹脂接着アンカーは、全てボルト中央部付近からのコンクリートのコーン破壊と付着破壊との複合的な破壊を示した [2]。

金属拡張アンカーは、コーン状には破壊せず全においてアンカーボルトの抜け出しとなった。

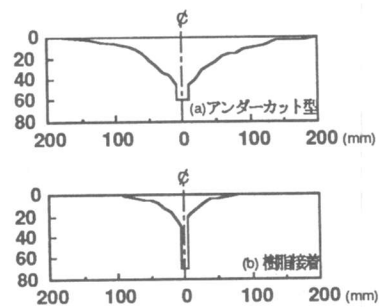


図-3 (a), (b) 破壊形状

3.2 荷重-変位曲線

図-4 (a) ~ (c)に各種アンカーの引抜試験において最大耐力が最大, 最小, 平均的なものの3体についての荷重変位曲線を示す。また、図-5に各種アンカーの比較のため平均的な荷重変位曲線を示す。

アンダーカットアンカーの荷重変位曲線は、はじめボルトの弾性を主とした剛性を示し、次に、

荷重の増加に伴い剛性低下を示す。また、最大耐力に達すると同時にコンクリート表面にひび割れが生じ、荷重が若干低下した後、脆性的に破壊する傾向が認められる。

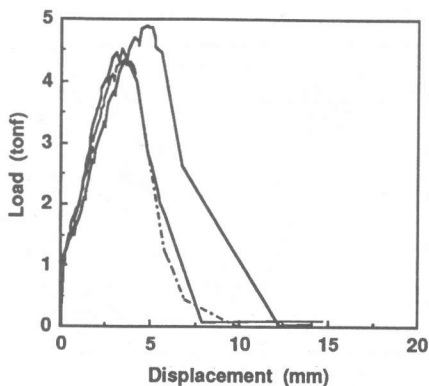


図-4 (a) 荷重変位曲線 (アンダーカット)

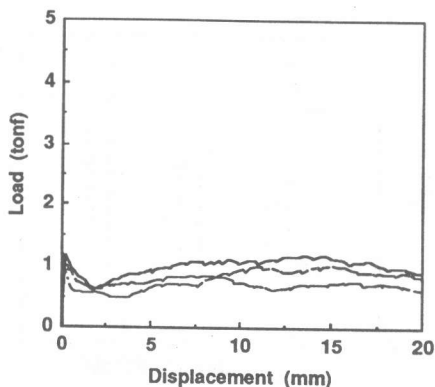


図-4 (b) 荷重変位曲線 (金属拡張)

金属拡張アンカーの荷重変位曲線は、アンダーカットアンカーと同様にはじめボルトの弾性を主とした剛性を示すがその時点で最大耐力となり、次に、ボルト先端部のコンクリートの圧壊による耐力低下が起こる。しかし、荷重を継続するコンクリート孔壁との摩擦をある程度保持しながらボルトが抜け出す傾向が認められる。

樹脂接着アンカーの荷重変位曲線は、他のアンカーに比べ荷重初期に高い剛性を示していることが分かる。荷重が増加するに伴い剛性は低下するが、この時、コンクリート表面にひび割れが生じることを実験時に確認した。また、最大耐力到達直後にコンクリートがコーン状に抜けるが、最大耐力以後は脆性的な破壊は起こらず接着樹脂とコンクリート孔壁との摩擦により徐々に耐力が低下している傾向が認められる。

図-5に3種類のアンカーの平均的な荷重変位曲線を示す。最大耐力に関しては、後述するようにアンカーの設計思想が異なるので、一様に比較はできないが耐荷機構の違いがよく認められる。

3.3 初期剛性

図-6に各種アンカーの初期剛性の比較を示す。ここでの初期剛性は、変位が0.1 mmに達したときの荷重と定義することとした。

初期剛性の大きさは、アンダーカット型、金属

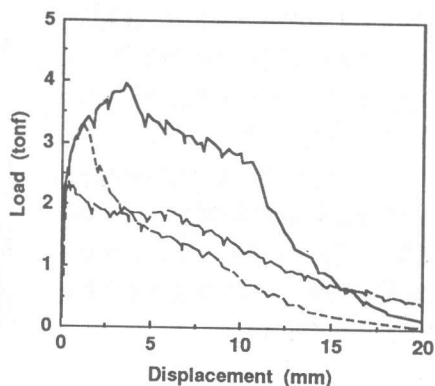


図-4 (c) 荷重変位曲線 (樹脂接着)

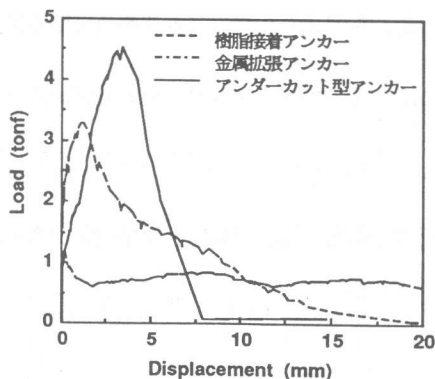


図-5 荷重変位曲線の比較

拡張、樹脂接着アンカーの順となっているが、樹脂接着アンカーはばらつきも一番大きく（表-2参照）、施工状況に左右され易いことが予測される。

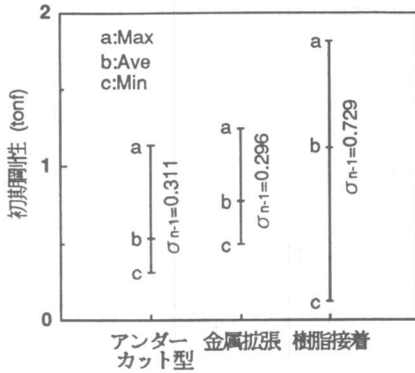


図-6 初期剛性の比較

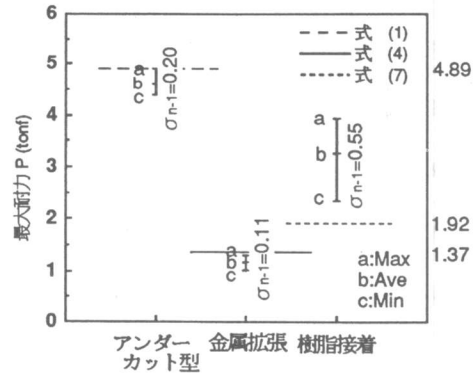


図-7 最大耐力の比較

ここで、アンダーカット型、金属拡張アンカーが剛性が低くなるのは、アンカーの底部でコンクリートの圧壊を伴うためと考えられる。また、アンダーカットアンカーが最も剛性が低くなる理由として、ボルト拡開部で局部的にコンクリートと密着するために低荷重でコンクリートの局部破壊が生じ変位が大きくなるためと考えられる [3]。

表-2 各パラメーターの平均および標準偏差

供試体数各6体

	アンダーカット型 アンカー	金属拡張 アンカー	樹脂接着 アンカー
初期剛性 (tonf)	0.538	0.779	1.112
標準偏差	0.311	0.296	0.729
最大耐力 (tonf)	4.62	1.18	3.28
標準偏差	0.20	0.11	0.55
最大荷重時変位 (mm)	4.28	5.24	3.48
標準偏差	0.91	6.25	2.65

コンクリート圧縮強度 (c'=375kgf/cm²)

3.4 最大耐力

図-7に各種アンカーの最大耐力の比較を示す。また、最大耐力の評価の目安とするため、アンダーカットアンカーの耐力算定式として、丸山・森山の式 [4]、金属拡張、樹脂接着アンカーの耐力算定式として、日本建築防災協会の式 [5] を用いることとした。

丸山・森山の式 (アンダーカットアンカー)

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

日本建築防災協会の式 (金属拡張アンカー)

$$P_{max} = \min [T_{a1}, T_{a2}] \quad (2)$$

$$T_{a1} = s a_t \cdot s \sigma_y \quad (\text{ボルト破断}) \quad (3)$$

$$T_{a2} = 0.75 \sigma_B^{1/2} \cdot A_c \quad (\text{コーン破壊}) \quad (4)$$

日本建築防災協会の式（樹脂接着アンカー）

$$P_{max} = \min [T_{a1}, T_{a2}, T_{a3}] \quad (5)$$

$$T_{a1} = s_a t \cdot s \sigma_y \quad (\text{ボルト破断}) \quad (6)$$

$$T_{a2} = 0.75 \sigma_B^{1/2} \cdot A_c \quad (\text{コーン破壊}) \quad (7)$$

$$T_{a3} = \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_e \quad (\text{付着破壊}) \quad (8)$$

$$\tau_a = 100 \cdot (\sigma_B / 210)^{1/2}$$

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

$s_a t$ ；アンカー筋の断面積， $s \sigma_y$ ；アンカー筋の降伏強度

σ_B ；コンクリート躯体の圧縮強度 (kgf/cm^2)

A_c ；有効水平投影面積 (cm^2)， τ_a ；平均付着強度 (kgf/cm^2)

d_a ；アンカー径 (cm)， l_e ；有効埋め込み長さ (cm)

耐力算定においては、各アンカーともコーン破壊耐力が支配する結果が得られた。しかし、実際にコーン破壊が生じたのはアンダーカットアンカーのみであった。

最大耐力は、初期剛性とは異なりアンダーカットアンカーが最も大きく、樹脂接着と比較して約1.8倍、金属拡張型では、約3.9倍となった。また、ばらつきは、初期剛性と同様の結果が得られた（表-2参照）。

4. 算定式の適用

耐力算定においては、全てコンクリート破壊になるにも関わらず、破壊形式は金属拡張アンカーではボルトの引抜け、樹脂接着アンカーでは、コーン破壊と付着破壊の複合であった。そこで、アンダーカットアンカーの算定式を適用することを考え、コーン破壊を有している樹脂接着アンカーについて検討することとした。今回は、適用する算定式として先に示した丸山・森山の式を用いることとする。

樹脂接着アンカーのコーン状破壊部のみを考慮した計算結果を表-3に示す。

ここで、付着耐力は式(5)の1。に有効埋め込み深さからコーン状破壊部の深さを引いた値を用いて計算を行なった値である。

コーン状破壊部の耐力の算定値は、実験値を2分の1以下であり、また、付着耐力よりも小さくなっている。

これは、前述したように樹脂接着アンカーの引抜試験時において、最大耐力に至る前にコンクリート表面にひび割れが入ることに起因する。よって、コーン破壊部のみが受け持つ耐力への適

表-3 算定値の適用

供試体 No.	コーン部の深さ (cm)	耐力 (tonf)		コーン+付着 (tonf)	実験値 (tonf)
		コーン部	付着		
1	2.73	1.74	1.37	3.11	3.00
2	2.26	1.38	1.57	2.95	3.44
3	1.42	0.80	1.92	2.72	3.64
4	2.31	1.42	1.55	2.97	2.36
5	2.23	1.36	1.58	2.94	3.29
6	3.36	2.25	1.11	3.36	3.95
平均	2.22	1.49	1.52	3.01	3.28

用は可能であると考えられる。しかし、コーン破壊での耐力と付着破壊での耐力を加えた値は、実験値と比較すると0.5 t o n f程度低い値となっている。

以上のことより、樹脂接着アンカーへのアンダーカットアンカーの算定式の適用は、コーン破壊部の深さ、付着破壊部とコーン破壊部の受け持つ割合を明確につかむことが必要であると考えられる。

5. まとめ

本研究で用いたアンカーについて以下の結論が得られた。

- 1) アンダーカットアンカーは、初期剛性はともかくとして耐力的にはばらつきが少なく、ひび割れ追従性に優れている。また、破壊形式はコーン破壊となった。
- 2) 金属拡張アンカーは、耐力は低いものの、ばらつきが少なく安定した性状を示している。また、破壊形式はボルトの引抜けであった。
- 3) 樹脂接着アンカーは、初期剛性は高いが、ばらつきが大きく施工状況に大きく左右される傾向にある。また、破壊形式は、コーン破壊と付着破壊との複合破壊であった。

[謝辞]

本研究の遂行にあたり峰岸、三幸商事には供試ボルト提供などのご支援を頂き、また、東急建設株式会社技術本部の竹下輝氏、長岡技術科学大学技官の中村裕剛氏には実験の実施にあたって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] 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, 1990, pp. 801~806
- [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耐力に関する実験研究
コンクリート工学年次論文報告集, 6, 1984, pp. 393~396
- [3] 中川和彦, 丸山久一, 竹下輝, 松尾正喜; 樹脂注入を伴うあと施工アンカーの耐荷性状
コンクリート工学年次論文報告集, 14-2, 1992, pp. 137~142
- [4] 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抜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, 1991, pp. 923~928
- [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