

論文

[2029] 隙間充填アンダーカットアンカーの疲労性状

堀内友雅<sup>1</sup>・丸山久一<sup>2</sup>・竹下輝<sup>3</sup>・櫃本寿<sup>4</sup>

1. はじめに

耐震補強用の鋼板や鋼フレーム等を既存コンクリート構造物に固定する目的などであと施工アンカーが用いられることが多い。あと施工アンカーの中でも拡開穿孔型アンダーカットアンカー（以下UCアンカー）は定着機構が明確で信頼性が高く注目されているが、頭付きスタッド等の先施工アンカーと比較した場合、変形性状が劣っている。この原因として、構成部材間の隙間、あるいは母材コンクリートとの接触の不完全さが考えられる。また、この隙間に水や炭酸ガス等の侵入を許すため、アンカー及び母材の耐久性にも悪影響を及ぼす。この改善策として構成部材間の隙間を充填する工法が試みられ、静的引抜き試験において最大耐力と変形性状が安定することが確認されている[1][2]。そこで本研究では、充填材に超微粒セメントスラリーを用いたアンダーカットアンカー（以下UCGアンカー）の疲労試験を行ない、また、打撃式自拡開型アンダーカットアンカー（以下SCアンカー）や樹脂接着アンカー（以下REアンカー）などのあと施工アンカーとも比較して、繰返し荷重に対する隙間充填アンダーカットアンカーの性能を検討した。

2. 実験概要

2.1 アンカー供試体

疲労試験に用いたアンカーボルトを表-1, 図-1に示す。UCGアンカーは、UCアンカーの構成部材間の隙間にポリマーセメントスラリー（表-2）を下向き姿勢で充填したものである。ボルト径はM12とし、埋め込み深さはアンダーカット系アンカーで6cm、REアンカーは、これらと同等の引抜き強度を確保するため8cmとした。実施工ではアンカーに初期剛性の確保のため締付けトルクを導入するが、本実験では以下の理由により締付けトルクを導入しないこととした。

1) トルク量の分だけ、埋込部のボルトに作用する応力振幅が減少する。

2) 実構造では、時間の経過と共にトルクが低下していく。

また、静的試験では載荷初期からの各アンカーの特性を顕著に現す目的で、締付けトルクを導入しないこととした。

2.2 コンクリート部材

コンクリートには、呼び強度300kgf/cm<sup>2</sup>、最大骨材寸法

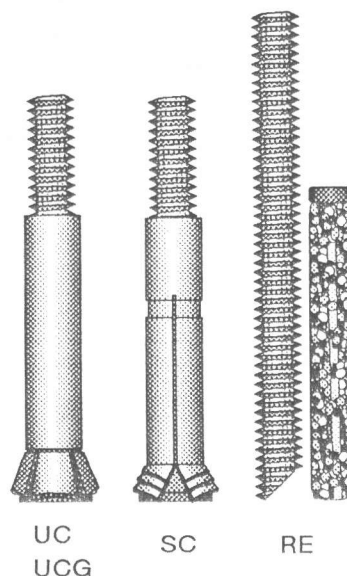


図-1 アンカーボルト

\*1 東京電力（株），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 東急建設（株）技術本部 建築技術部（正会員）  
 \*4 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）

表-1 アンカーボルト諸元

形式	アンダーカット系		樹脂接着型 (不飽和ポリエステル系)
	拡開穿孔型	打撃自穿孔型	
略称	UCアンカー	SCアンカー	REアンカー
ボルト材質	ステンレス鋼 A4-70 JIS B 1054	添加物入り炭素鋼 強度区分8.8 JIS B 1051	高温用合金鋼 SNB 7 JIS G 4107
ボルト径, 有効断面積	M12, 84.3mm <sup>2</sup>		
埋込深さ	60mm		80mm

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クストコンクリートを使用した。ブロック寸法は400mm×450mm×300mmである。試験時のシリンダー圧縮強度は320~360kgf/cm<sup>2</sup>であり、疲労試験期間中でのシリンダー圧縮強度の増加はほとんど認められなかった。

表-2 充填材の物性

名称	超微粒セメントスラリー (Wp/C=40%)
比重	1.85
圧縮強度	605kgf/cm <sup>2</sup>
弾性係数	2.12×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup>

Wp: ポリマー混合水重量

### 2.3 荷重レベル及び載荷方法

疲労試験の荷重レベルは、基本的に最大荷重は静的引抜き強度の85,70,55%とし(表-3)、最小荷重は試験体にながたつきが生じないように全て0.5tfとした。試験体本数は基本的に各荷重レベルごとに5体ずつ行なうものとした。ただし、UCGアンカーは、この他の荷重レベルでの疲労試験も行なった。静的引抜き試験時の各アンカーの代表的な荷重変位曲線を図-2に示す。アンカーボルトへの載荷は、図-3に示すような油圧サーボ式疲労試験装置で行ない、最初の5サイクルは静的に載荷し、その後荷重、変位量に応じて3~12Hzで載荷した。載荷回数、荷重振幅、変位の各データは、載荷開始から破壊に至るまで連続的にマイクロコンピュータに収録した。

表-3 荷重レベル

アンカー種別	UCG	UC	RE	SC	
静的引抜き強度	4.83	4.22	4.87	4.72	
標準偏差	0.25	0.26	0.43	0.66	
Pmax/Pu	85%	4.10	3.60	4.10	4.00
	70%	3.40	3.00	3.40	3.30
	55%	2.70	2.30	2.70	2.60

Pmax: 疲労試験時作用最大荷重

Pu: 静的引抜き強度

※数値の単位はtf

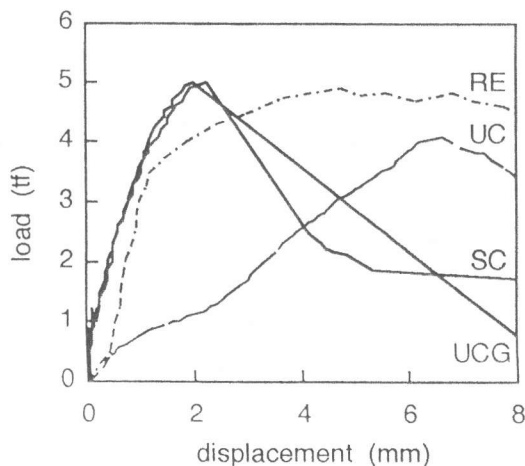


図-2 荷重-変位曲線 (静的)

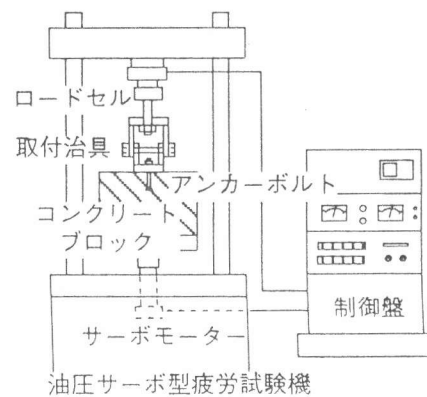


図-3 試験装置概要

### 3. 実験結果

#### 3.1 破壊形式

(a) UCGアンカー：1体がコンクリート破壊であったが、その他は全て载荷治具を取付けたナットの下端におけるボルト破断であった。また、疲労破壊後のアンカーボルトの観察の結果、ボルト破断箇所以外にはひびわれなどの疲労損傷は見られなかった。これは、隙間を充填した事により、力の伝達がスムーズに行なわれたためと考えられる。

(b) UCアンカー：ボルト破断が多かったが、破断位置が一定ではなく、コンクリートに埋め込まれている部分での破断も数体あった。また、破断箇所以外にもひびわれが生じている供試体もあった。特に低荷重レベルでは、図-4に示すような、スリーブの破断による引抜けも見られた。

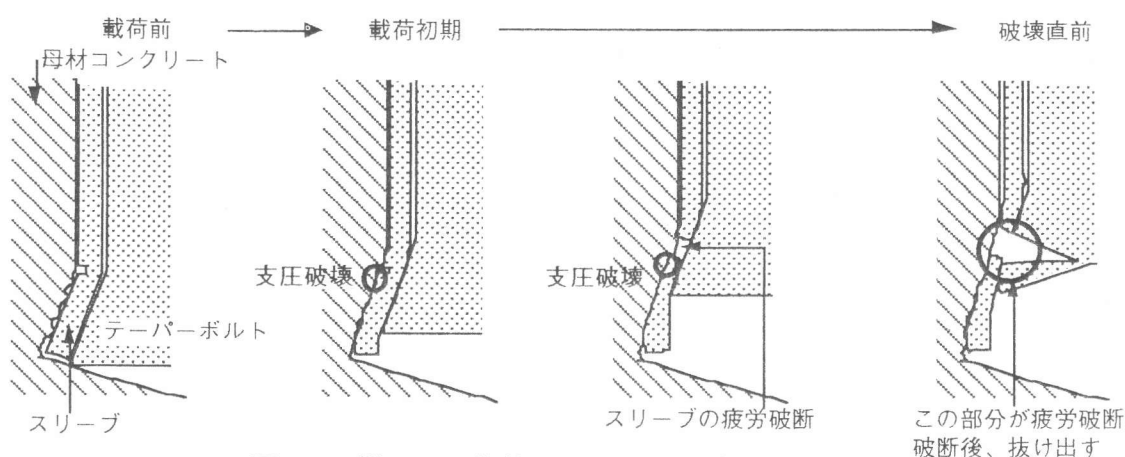


図-4 繰り返し载荷によるスリーブの破断過程

隙間を充填しないアンダーカットアンカーでは、スリーブの拡開部とコンクリートとの接触が完全ではないために、コンクリート孔壁あるいはスリーブの拡開部に応力集中が生じやすい。従って、コンクリートにもひび割れが発生し易いとともに、スリーブの破断が生じる場合もある。

ただ、接触が完全でない事は、荷重の繰り返しを受けている最中に、スリーブとコンクリートとの接触部がずれて、応力集中の箇所が変わることもあり、1箇所への損傷累積が緩和される事もあるようで、図-6に示すように、疲労寿命は必ずしも小さくはない。

(c) SCアンカー：UCアンカーと同じくボルト破断が多いが、荷重レベルが高い場合には引抜けによる破壊が発生しやすいという特徴がある。これは、スリーブ先端部が施工時にかなり傷んでいた場合に起こると考えられる。一方、荷重レベルが低い場合には、UCアンカーのようなスリーブ破断による引抜け破壊は発生しなかった。

(d) REアンカー：ボルト破断するものと引抜けによるものの2通りの破壊形態が見られた。特に荷重レベルの高い場合には、付着性状が疲労特性を支配する割合が大きくなるため、施工時に孔内清掃を念入りにし、樹脂を過攪拌しないようにするなど、施工管理が大切である。

#### 3.2 载荷回数と変位の増加

図-5に各アンカーについて繰り返し回数と最大変位の増加量の関係を示す。ここでは、ボルト破断したものの中で代表的なものを示した。図から、荷重レベルが低いほど同一繰り返

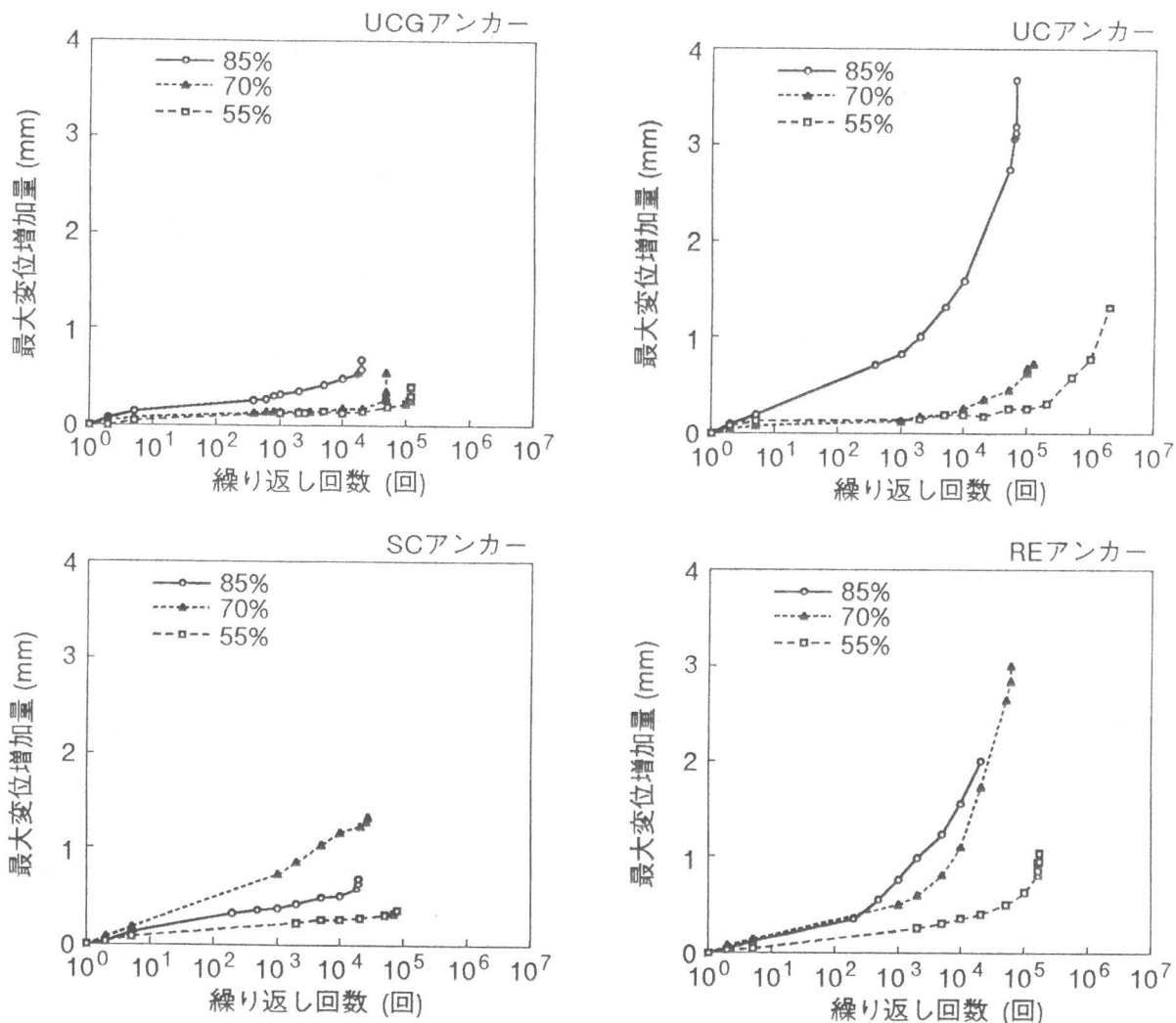


図-5 繰り返し回数-最大変位増加量の関係

し回数時の変位の増加量が小さくなっている事がわかる。

UCアンカーは、3.1で述べた要因により荷重回数とともに最大変位が大きく増加する。そして、この傾向は荷重レベルが高い程顕著である。しかし隙間充填により、アンカーとコンクリートが一体となり、変位の増加を効果的に抑制できた。

SCアンカーの変形特性は、スリーブ先端の施工状態に大きく左右される傾向がある。スリーブ先端が傷んでいる場合には定着部での滑り変形が大きくなるため、変位性状においてばらつきが生じる原因となる。

REアンカーは荷重回数とともに付着面において樹脂の変形量が増加していくようで、アンカーの先端で機械的にコンクリートに定着しているアンダーカット系アンカー（特にUCGアンカー）に比べて大きな変位増加を示す。しかし、変位増加が進んでもすぐには破壊せず、ボルト破断直前までは靱性的な変形性状を示す。また、引抜け破壊を起こすものは、荷重初期から付着切れが進行するため、変位の増加量が特に大きくなる傾向がある。

### 3.3 疲労寿命

疲労試験結果を表-4に、そしてS-N関係を図-6に示す。図中にはボルト破断以外のデー

タも示してある。ただし、破壊形式がほとんどボルト破断であるため、縦軸、横軸ともに対数で表した。ここでの疲労曲線は、ボルト破断したものを対象にして、それぞれの荷重レベル毎に寿命の平均値を求めて、供試体数の重みをつけて最小自乗法により求めた。縦軸の応力振幅は、ボルトに作用する応力振幅（最大応力と最小応力との差）である。なお、疲労寿命の評価のために、ステンレス鋼A4-70を母材としているUCアンカーの機械的性質を土木学会の疲労強度算定式[3]に代入して比較した。

表-4 疲労試験結果

Pmax/Pu	破壊回数(log)の平均値 (標準偏差)			
	UCG	UC	SC	RE
85%	4.33 (0.12)	4.77 (0.39)	4.28 (0.00)	4.47 (0.08)
70%	4.68 (0.17)	5.13 (0.31)	4.36 (0.09)	4.97 (0.20)
55%	5.03 (0.21)	5.79 (0.02)	4.86 (0.14)	5.41 (0.16)

※値は、ボルト破断したものを対象にした。

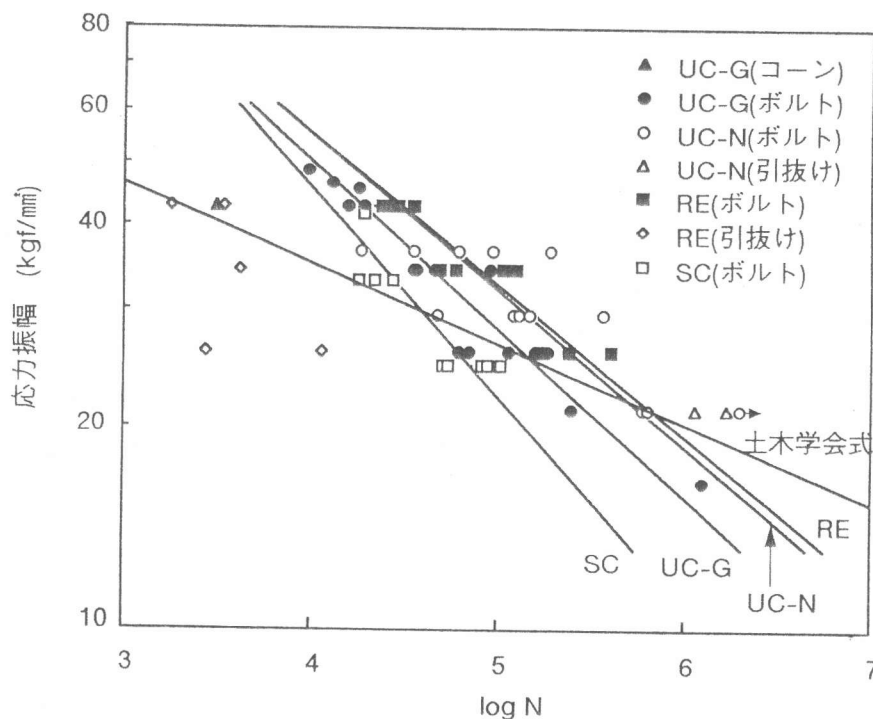


図-6 S-N関係図

土木学会の疲労強度算定式によると、鉄筋の疲労強度 $f_{sr}$ は疲労寿命 $N$ と永久荷重による鋼材の応力度 $\sigma_{sp}$ の関数として、一般に次式で表される。

$$f_{sr} = 1900 \frac{10^\alpha}{N^k} \left(1 - \frac{\sigma_{sp}}{f_u}\right) \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

ただし、 $N \leq 2 \times 10^6$ ,  $\alpha = k_0(0.82 - 0.003 \phi)$ ,  $k = 0.12$

ここに、 $f_u$ : 鋼材の引張強度,  $\phi$ : 鋼材直径(mm),  $k_0$ : 一般に1.0としてよい。

これによると、疲労強度は破壊回数が $10^4 \sim 10^6$ 程度のレベルで土木学会式と良くあっているが、今回の疲労試験結果では土木学会式に比べてS-N線の傾きがかなり急である。そのため、破壊回数が多いほど危険側の算定となっており、200万回疲労耐力では土木学会式を下回ることが予想される。今回の試験結果のように、応力振幅が小さくても疲労寿命がそれほど増えないのは、高強度鋼材の特性と、ボルトの形状が応力集中を招きやすいことによるもの考えられる。全体を見ると、ボルトによって多少の疲労寿命の差はあるが、傾きにはそれほど差はない。従って、これらのアンカーボルトの疲労耐力は概ねボルト単体の疲労耐力に依存していると考えられる。

UCアンカーについては、隙間充填によって疲労寿命のばらつきが小さくなっているように見える。また、充填なしの疲労寿命はばらついているが、充填したものより若干長くなる傾向がある。これは、3.1で述べた要因により、充填の有無で損傷の集中度が異なったためではないかと考えられる。隙間を充填した場合には締付けナット下端部の狭い箇所に疲労損傷が蓄積するが、隙間充填をしない場合には、損傷の集中が緩和される場合もあって、結果的に充填なしの方が疲労寿命が長くなるケースも出てくるものと考えられる。また、そのばらつきが他のアンカーよりも大きくなる要因として、疲労損傷を与える応力集中の位置が繰り返し荷重を受ける過程において異なることが考えられる。また、同一荷重レベルにおいて、引抜け破壊の疲労寿命は、ボルト破断するものよりも長くなる。

SCアンカーについては、定着機構上、静的引抜き強度のばらつきがほかのアンカーに比べて大きいため、荷重レベルが高いときには極くわずかな荷重回数で破壊することがある。しかし荷重レベルが下がると、寿命、変位増加のばらつきが小さくなり、安定した性状を示すようになる。

REアンカーは、引抜けとボルト破断の2つの破壊モードで、疲労寿命は大きく異なっている。ボルト破断する場合には、概ねアンダーカット系アンカーと同等の疲労寿命であるが、引抜けにより破壊する場合には、少ない繰り返し回数で破壊する。

#### 4. まとめ

本研究により、以下の結論が得られた。

- 1) 隙間充填のない拡開穿孔型アンダーカットアンカーでは、繰り返し荷重を受けると定着部が破壊し、特に荷重レベルの低いときに引抜けが発生することがある。しかし、その疲労寿命は同一荷重レベルでボルト破断するものよりも長くなる場合もある。
- 2) 拡開穿孔型アンダーカットアンカーに隙間充填工法を用いると、絶対的な疲労強度はやや低下するものの、そのばらつきは小さくなり、変位増加も非常に少なくなる。
- 3) 樹脂接着、打撃自拡開型アンダーカットアンカーでは、荷重レベルが高いときに引抜け破壊が発生しやすい。

#### [謝辞]

本研究の実施にあたり、峰岸、日本デコラックス、日本ヒルティにはアンカーボルト提供などのご支援を頂き、また、文部技官の中村裕剛氏には実験の遂行にあたり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]中川和彦ほか：樹脂注入を伴うあと施工アンカーボルトの耐荷性状，  
コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14-2，pp137-142，1992
- [2]竹下輝ほか：隙間充填アンダーカットアンカーの耐荷性状，  
日本建築学会大会学術講演梗概集，pp1119-1120，1992
- [3]土木学会：コンクリート標準示方書 [設計編]，pp30-31，1991