

論文

[2024] 長期荷重を受けたアンカーボルトの引抜き耐力

正会員 ○橋高義典 (宇都宮大学工学部)

正会員 上村克郎 (宇都宮大学工学部)

1. はじめに

近年, コンクリート躯体への設備機器, 天井材, 仕上用石材等の接合には, あと施工アンカーを用いるケースが増加している. 従来のあと施工アンカーの研究では, 埋込み直後の強度性状を把握している場合が多く [1-4], 長期間の荷重作用を受けた後のアンカーボルトの性状に関する研究はほとんど見られない. 特に, 天井材等のファスニングで鉛直方向に荷重を受けるアンカーボルトに関しては, 長期的な荷重作用を受けた後の安全性を検討する必要がある.

本研究は, 各種あと施工アンカーについて, 静的荷重を5年間作用させた後の引抜き性状を把握するとともに, アンカーの種類による差異を考察したものである.

2. 実験方法

2.1 アンカーボルトの概要

実験に使用したアンカーボルトの概要を図-1に示す. 今回は長期荷重に対するアンカーの定着性の影響因子として, 接着系アンカーと金属拡張アンカーの差異, 接着剤の種類, メカニカルアンカーの定着部形状および定着部の長さなどに着目した. 特に, 定着部の長さについては定着部スリーブの個数を3段階に変化できる複数平行拡張打込み型アンカーを製作し試験に供した (Me-1Sr, Me-2Sr, Me-3Sr). また, Me-POEでは, 市販の平行拡張型アンカーにエポキシ接着剤を併用した. ボルト径は何れも12φmm (M12) とした. アンカーの施工方法は, メーカーの仕様に従った. 平行拡張型アンカーのトルク値は 700kgf・m とした. エポキシ接着剤を用いた場合は, あらかじめ穿孔した穴にエポキシ樹脂を注入し, その後アンカーを挿入しトルクを加えることとした. 試作した複数平行拡張打込み型スリーブアンカーでは, スリーブおよびウェッジを順次重ね打込み棒で打撃を加え締め付けた.

分類	概要・形状 (mm)		
	No	記号	種類・材質
接着系	1	Ch-PE	ポリエステル系樹脂
	2	Ch-Ce	無機系・速硬性セメント
平行拡張型	3	Me-PO	締付け, ダブルコーン
	4	Me-POE	+エポキシ系接着剤
拡張部打込み型	5	Me-Sr	スリーブ打込み式
	6	Me-ESr	リブ形状が逆向き
試作・複数平行拡張打込み型	7	Me-1Sr	平行拡張スリーブ1連
	8	Me-2Sr	平行拡張スリーブ2連
	9	Me-3Sr	平行拡張スリーブ3連

図-1 アンカーボルトの概要

2.2 長期荷重の作用方法

荷重方法は、実際に天井部位にアンカーボルトが施工された場合を想定し、コンクリート母材の下面にアンカーを埋設し、設備器機等の重量を想定した約65kgのコンクリート立方試験体を鉛直に取付けた。立方試験体にも同一種類のアンカーを埋設し、母材のアンカーと同様の荷重条件を与えることとした。図-2に荷重作用方法の概要を示す。試験体の形状およびアンカーの埋設位置を図-3に示す。コンクリート母材のアンカー埋設は3箇所とし、埋込み深さはすべて70mmに統一した。アンカー1種類、測定材令1条件につき母材の埋設箇所は2箇所とし、立方試験体を2個設置することにより合計4箇所の引抜き試験結果を得ることとした。アンカーの施工は、コンクリート母材の材令28日目に行い、翌日、無載荷試験体の引抜き試験を行った。その後、立方体試験体を取付け、3ヶ月、1年、2年、5年後の4時期に引抜き試験を実施した。

2.3 コンクリートの条件

コンクリート母材は十分な強度を持たせるためW/Cを40%とした。コンクリートに使用した骨材の性質を表-1に、調合条件および性質を表-2に示した。コンクリートは打設後、3日で脱型し屋外において養生マットによる封かん養生を材令28日までに行い、その後は屋外放置とした。打設は1986年6月～7月に実施した。

2.4 引抜き試験方法

引抜き試験方法は図-4に示すとおりであり、加圧は油圧シリンダー（10t）により、荷重検出はロードセルによった。引抜き時の変位はカップリング部から変位計により検出した。荷重-変位データはXYレコーダに記録すると共に、パソコンに記録した。

表-1 骨材の性質

種 類		最大径 (mm)	比 重		吸水率 (%)
			表乾	絶乾	
粗骨材	川砂利	25	2.62	2.57	1.85
細骨材	川 砂	5	2.51	2.46	2.00

表-2 コンクリートの調合および性質

W/C (%)	単位容積重量 (kg/m³)				スラ ブ (cm)	空気 量 (%)
	水	セメント	細骨材	粗骨材		
40	165	413	740	1048	19.0	1.6

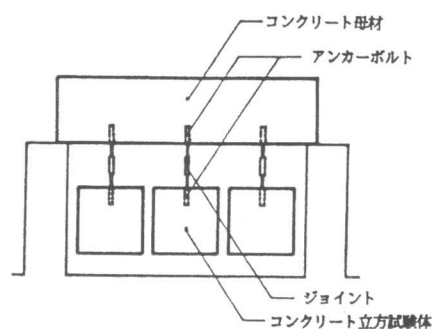


図-2 試験方法の概要

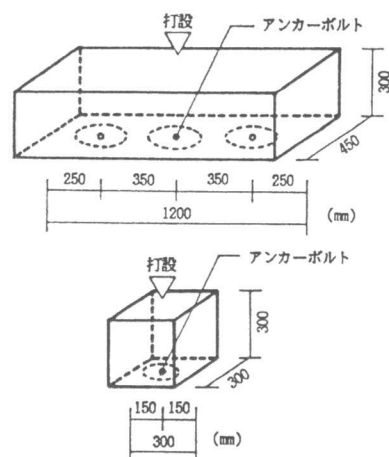


図-3 コンクリート試験体

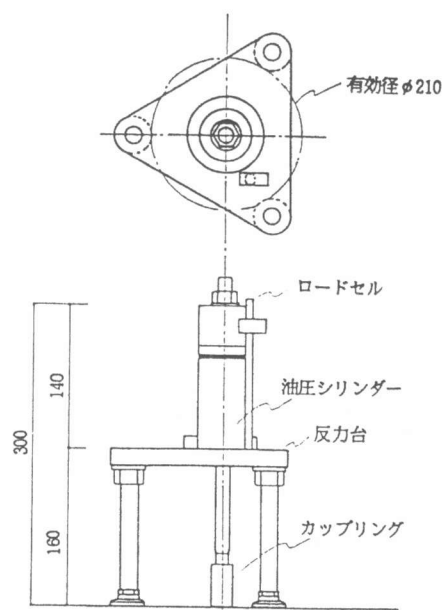


図-4 引抜き試験方法

3. 実験結果と考察

3.1 コンクリートの性質

長期荷重を作用させた試験体と同一場所に気中養生したコンクリートの圧縮強度を図-5に、割裂引張強度を図-6に示す。圧縮強度、割裂引張強度とも経過年とともに増加しており、5年の値は28日強度の約1.5倍となっている。

3.2 引抜き最大耐力の経時変化

引抜き試験での破壊モードは、ケミカルアンカーは全て上部がコーン状となる半ずり抜けコーン状破壊、3ヶ月以降のメカニカルアンカーは全てボルト破断となった。ケミカルアンカーでは、ボルト面とコンクリート面との付着力が耐力に影響するのに対し、メカニカルアンカーでは、コンクリートのコーン状破壊強度とボルト強度のうちのより低い強度に支配される。今回使用したコンクリート母材の強度およびその増加率は比較的大きいため、長期材令においては、コーン状破壊強度の方がボルト強度を上回ったと考察できる。

図-7に引抜き時の最大耐力の経時変化を示した。4箇所の測定値の平均で示した。各アンカーボルトとも耐力的には十分であり、今回の荷重条件の作用下では大幅な耐力低下は生じていない。ケミカルアンカーは2種類とも、初期値よりも3ヶ月目に若干耐力が低下し、その後は、上昇する傾向を示す。この理由は、アンカー設置初期に比べ、3ヶ月後では硬化過程に荷重が作用し、硬化樹脂が引張力を受け、付着強度が若干低下したものである。3ヶ月以降は上昇しているが、これは、コンクリート自体の強度増加、硬化付着部分の強度が安定したことなどによるものと思われる。また、速硬セメント系の方が初期の耐力がやや大きい傾向があった。

メカニカルアンカーでは、スリーブ拡張型が初期の耐力が若干低い傾向を示すが、3ヶ月以降はほぼ同じ値となり長期的には十分な耐力を示した。

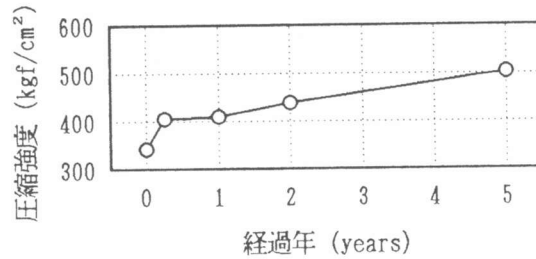


図-5 圧縮強度の経時変化

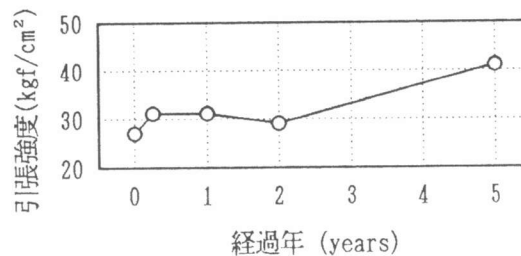


図-6 割裂引張強度の経時変化

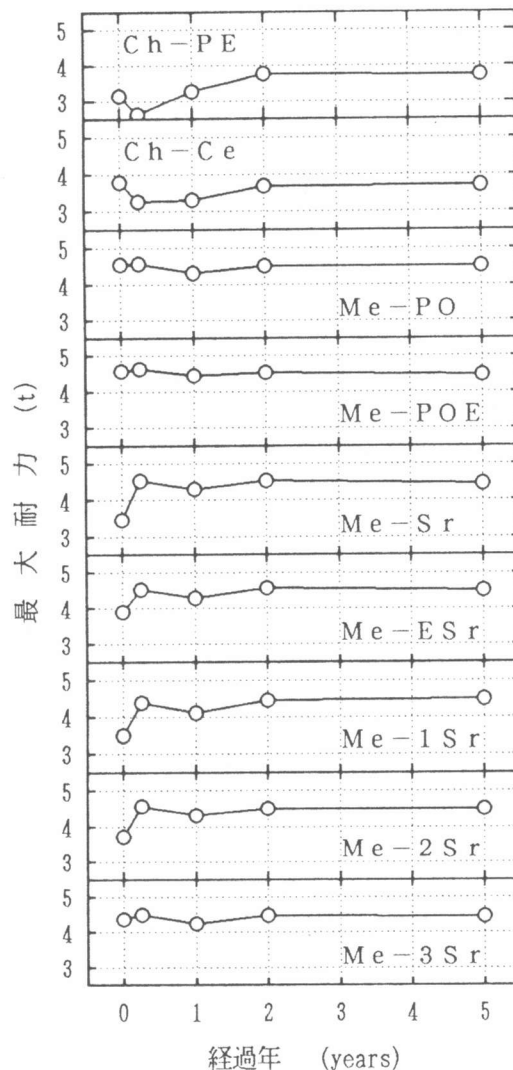


図-7 最大耐力の経時変化

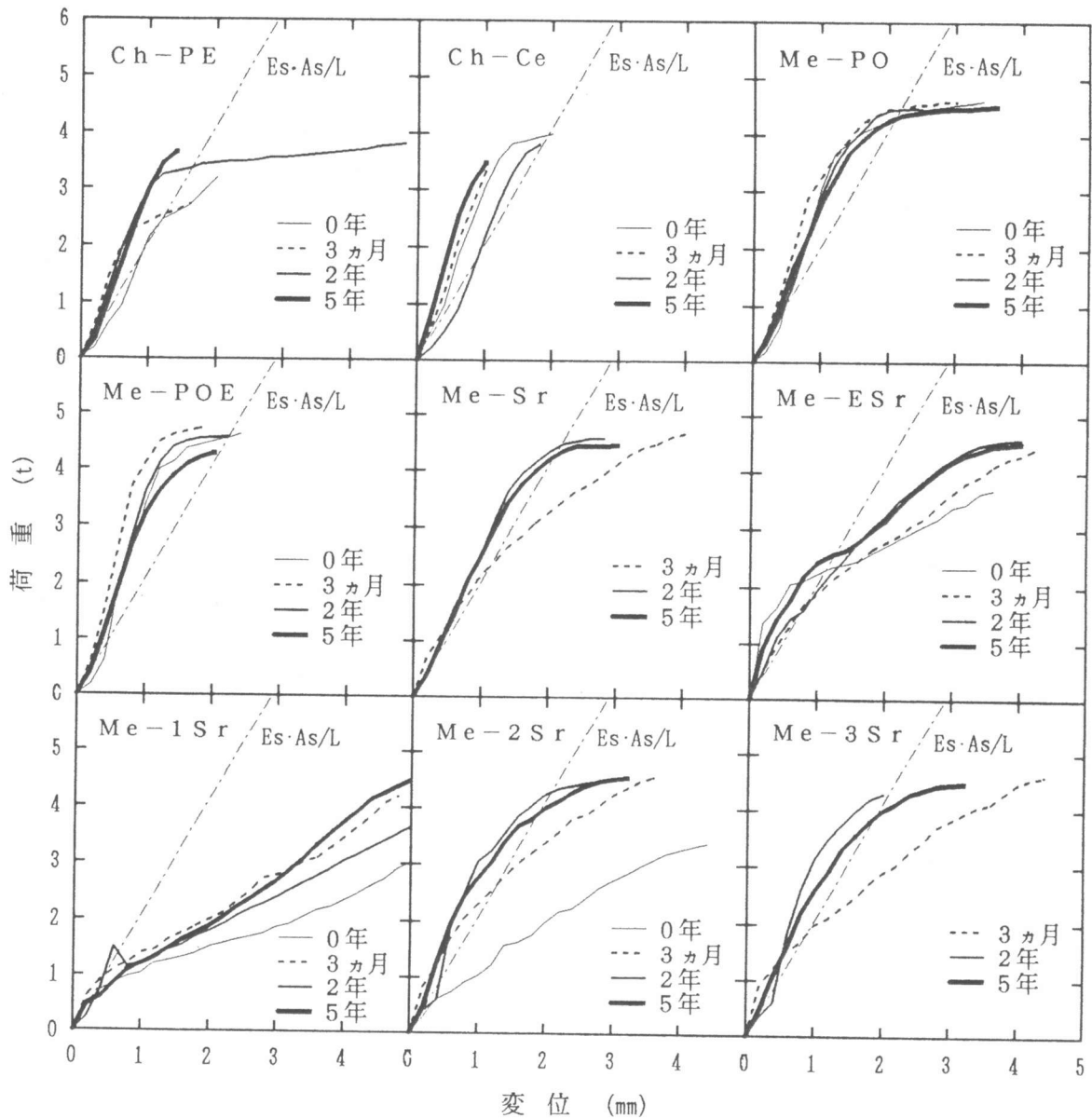


図-8 引抜き荷重-変位の測定結果

3.3 荷重-変位曲線

図-8に各アンカーボルトの引抜き荷重-変位の測定例を示す。図中にはボルトのみの場合の変形直線も推定して記した。本図により、各アンカーボルトの引抜き試験での剛性を考察すると以下のとおりである。

ケミカルアンカー (Ch-PE, Ch-Ce) は、初期よりも5ヶ年後の方が荷重変位曲線の傾きが大きく、剛性が高い。この理由は、コンクリート強度の増加に伴うボルトとコンクリート界面の付着強度の増加の影響と考えられる。また、接着剤自体の強度低下も生じていないと考えられる。特にセメント系接着剤では水和反応に伴う強度増進が推定される。

平行拡張型アンカー (Me-PO) は、初期から5か年までの荷重変位曲線にほとんど変化がなく、剛性も高い。これはスリーブとコンクリート面との接触面積が大きくかつ、トルクによる定着力が十分働いているためと考えられる。平行拡張型アンカーにエポキシ接着剤を併用した

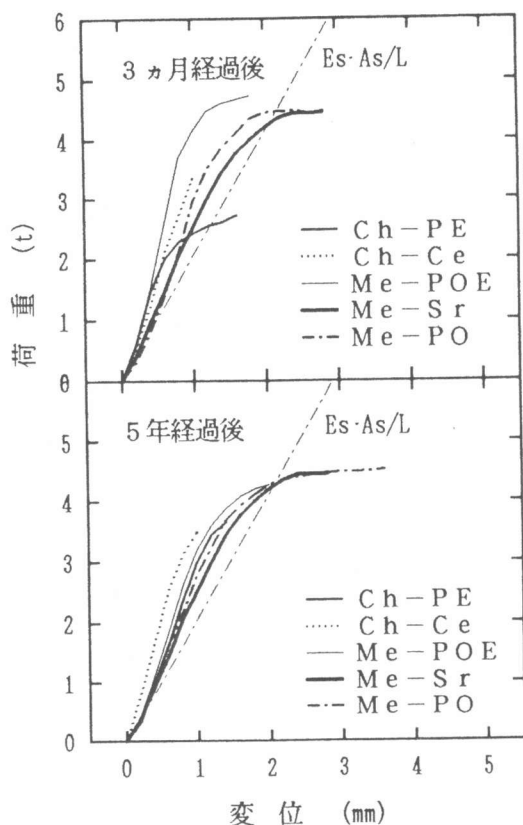


図-9 アンカーの種類による差異

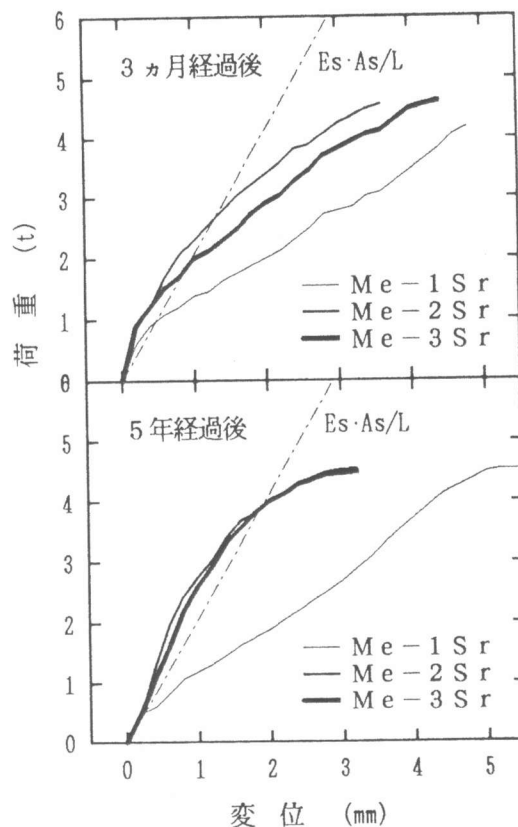


図-10 スリーブの個数の影響

もの (Me-POE) は、さらに剛性が高く理想的といえる。3ヶ月が最も高く5年目はやや低下する傾向にあるが、エポキシ接着剤の劣化の影響を若干受けたものと考えられる。

スリーブ打込み型 (Me-Sr) は3ヶ月での剛性はやや低くなるが、2年、5年とも高い剛性を示し、経過年と共に剛性は増加傾向にある。また、スリーブ拡張型の試作アンカー (Me-1Sr, Me-2Sr, Me-3Sr) においても、経過年と共に剛性は増加する。これらの増加傾向の理由は以下によると考えられる。一つはコンクリート強度が増加し、スリーブのずれ変形が小さくなった点が挙げられる。さらに、長期荷重を受けることによりスリーブの拡張が安定するとともにコンクリート面へのスリーブ付着面積が増加し、とう錨効果が向上したことも考えられる。

スリーブのリブを逆向きにした (Me-ESr) は、各材令とも低い剛性を示す。これは、スリーブを打込み棒で拡張する際に、リブが逆向きに拡張するため、コンクリート穿孔面に定着する面積が小さくなるためと考えられる。また、スリーブ1個の場合 (Me-1Sr) は剛性が著しく低下していることより、メカニカルアンカーボルトの引抜き剛性はコンクリートへ定着するスリーブ面積が重要な因子であることが考察される。

図-9にはアンカーの種類別に荷重-変位曲線を示した。初期の変形はアンカーによって差があるが、経過年の増加に従って、その差は少なくなり剛性も大きくなる。このことは、コンクリート強度の増加による影響を受けていると考えられるが、メカニカルアンカーには、先ほど述べたように荷重を作用させることで定着が安定する”定着効果”もあり得ると考えられる。

図-10には、試作アンカーについてスリーブの個数別に荷重-変位関係を示した。3ヶ月の結果を見ると、スリーブ1連が最も変形しやすく、次に3連、最も変形し難いものが2連と

なっている。また、5年の結果でも、2連と3連は同等の剛性を示した。すなわち、スリーブの個数に単純には比例しない。この理由は、スリーブ3連の場合には、すべてのスリーブに均等の拡張力を持たせるのは難しく、いずれかのスリーブの拡張力が相対的に緩み、3連分の効果が得られないためと推定できる。したがって、単純に面積を増やすだけではなく、均等な拡張力を加えることが重要である。

4. まとめ

各種あと施工アンカーについて、静的荷重を5ヶ年間作用させた後引抜き試験を実施した結果、今回の荷重条件およびコンクリート母材の条件の範囲で、以下のことが考察された。

1) 各アンカーとも今回の負荷条件では、引抜き耐力の大幅な低下は起こらず、安定した定着性能を示した。ケミカルアンカーは設置後3ヶ月で若干引抜き耐力が低下するが、その後は上昇し安定した耐力を示した。

2) 全体的に経過年が増すことで引抜き時の剛性がやや増加する傾向があった。ケミカルアンカーの場合は、コンクリート母材の強度増加に依存したと考えられるが、スリーブ拡張型メカニカルアンカーの場合では、それ以外にも、適度な荷重を作用させることで”定着効果”が生ずるものと考えられる。締付け型平行拡張アンカーは安定した剛性を示し、エポキシ接着剤を併用することにより、初期の剛性はさらに向上した。

3) メカニカルアンカーの引抜き時の剛性は、コンクリート孔内面へのスリーブの定着面積の影響を受け、それが大きい場合には剛性が上がる。ただし、一様の拡張力を持たない場合には逆に、定着部が減少し剛性が低下する場合もある。

今回は、比較的小さな荷重条件で得られた結果である。今後は、より最大耐力に近い荷重での長期変化を検討する必要がある。

謝辞 実験材料に御協力いただきました三幸商事(株)、日本ドライビット(株)に感謝いたします。また実験に御協力いただいた伊藤竜太氏(竹中工務店(株))、金子和人氏(宇大技官)に感謝いたします。

参考文献

- [1] 松村和仁, 宗 栄一: エポキシ樹脂アンカーの引張強さに関する実験的研究, 第6回コンクリート工学年次講演会論文集, pp. 389-392, 1984
- [2] 松崎育弘, 川瀬清孝, 永田守正, 丹羽 亮: 樹脂アンカーの支持耐力に関する実験研究, 第6回コンクリート工学年次講演会論文集, pp. 393-396, 1984
- [3] 上村克郎, 小西敏正, 橋高義典, 関 和彦: メカニカルアンカーボルトの引抜き耐力に及ぼすコンクリート母材の性質, 第8回コンクリート工学年次講演会論文集, PP. 405-408, 1986.6
- [4] 森山智明, 丸山久一, 清水敬二, 山本康之: 後打ちアンカーボルトの引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, 1991.6