

論文

[2012] 耐震補強金属系アンカーの引抜き抵抗機構

正会員○細川洋治（東京大学工学部）

正会員 青山博之（東京大学工学部）

正会員 小谷俊介（東京大学工学部）

石原益夫（日本ドライヴ・イト）

1. はじめに

我が国において、鉄筋コンクリート構造物の補強を目的とした、あと施工アンカーの強度に関する研究が本格的に始ったのは、1978年宮城県沖地震の被害建物の補強、同年に制定された「大規模地震対策特別措置法」に基づく、「地震防災対策強化地域」に指定された静岡県を中心とする東海地方で、耐震補強工事が行なわれ始めた時期と考えられる[1]。現在、これらのアンカーの引抜き力に対する設計は、日本建築学会合成構造設計指針[2]の中に、頭付スタッドの引抜き耐力の考え方に基づいたコンクリートのコーン破壊耐力に低減係数を乗じる方法が示されている。頭付スタッドの場合、抵抗部分がコンクリートと完全に密着し、抜け出し量は微小であるのに対し、打撃式金属拡張アンカー（以後HEアンカーと呼ぶ）は、引抜き力に対して剛性が低く、強度もバラツキが大きく、抜け出し量を考慮した設計方法の確立が必要である。

2. 目的

既存鉄筋コンクリート建物の耐震性を向上させる方法として、耐震壁を増設して補強建物の強度を増す工法がある。この工法は、コンクリート部分を目荒しした後、あと施工アンカーを打込み、壁筋と接合してコンクリート打設を行ない、既設部分と増設壁の一体化を行なうものである。本研究は、第一にこれらの補強建物に対して、従来から用いられているHEアンカーの施工完了の時点を確認することにより、安定した剛性と耐力を確保して設計強度を保証する方法の提案、初期力を導入した場合の挙動の検討及び、先端部の形状を検討することであり、第二に穿孔用ドリルの改良を行ない、コンクリートとアンカーのかみ合い力を増すようにUCDリルで穿孔後底部をコーン状に削った後に打撃により打込むUXアンカーの性能を把握することである。コンクリート試験体にアンカーを打込み、引抜き力を作用させた場合の抵抗機構、引抜き耐力を実験結果から明らかにするとともに、信頼性を向上させる施工方法の提案を行なう事を目的とする。

3. 実験の方法

3. 1 試験体

図-1に試験片打込み用のコンクリート試験体の形状寸法を示した。コンクリート試験体は全部で12体、打設は縦打ちとし、試験片を打込むときにこれらのコンクリート試験体を横にして、アンカーの打ち込み方向はすべて下向きに施工した。コンクリートの設計基準強度は $F_c=210\text{kg/cm}^2$ を標準とし、 $F_c=100\text{kg/cm}^2$ と $F_c=300\text{kg/cm}^2$ をそれぞれ2体ずつ製作した。表-1にコンクリート材料試験結果、シュミットハンマーによる試験結果、図-2にシリンダー強度とシュミットハンマー試験の比較を示した。

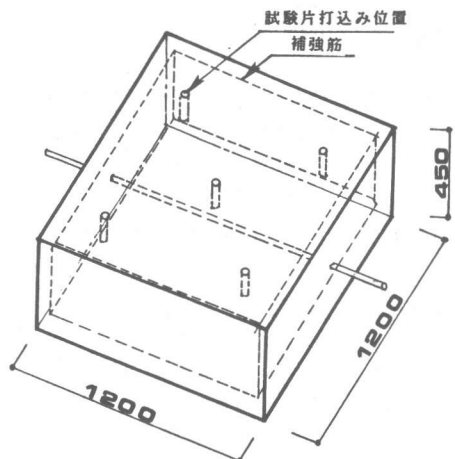


図-1 コンクリート試験体

3. 2 試験片の打込み

試験片は図-1の試験体に一般のドリルとUCドリルの2種類のドリルを用い、打込み深さは、アンカー径 d に対し3 d 、5 d 、7 d 、9 d の4種類とした。図-3にHEアンカー試験片の詳細を示した；(a)はHEアンカーの概要、(b)～(d)は先端部の詳細、(b)は標準的な形状、(c)は内面を45度にカットしたもの、(d)はプラグ部分を長くして、削り取られた粉を溜める空隙を設けたBU型である。図-4はUXアンカーで、プラグの角度は14度と15度の2種類とした。穿孔に用いたUCドリルの先端角度は8、14、28度の3種類とした。試験片の本数は各パラメーターごとに3本とした。表-2に試験片の材料試験結果を示した。HEアンカー、UXアンカーとも材質は、SUM22を標準とし、一部S45Cを用いた。いずれも明確な降伏点はなく、残留ひずみ0.2%になる点を降伏応力度とした。

3. 3 加力及び測定方法

図-5に加力装置、測定方法を示した。コンクリートと接する面の大きさは、打込み長さを9 d とした場合でも、その底部から45度のコーンの内側を、拘束しないように内法の直径を36cmとした。打込んだアンカーと、加力用ロッドの接続は、ユニバーサルジョイントを介して行なうようにした。加力は、20t油圧ジャッキを用い、手動ポンプにより行ない、10tロードセルにて荷重の大きさを検出した。初期力はトルクレンチにより、0.5～1.5tfの範囲で負荷した。アンカーの抜け出し量の測定は、精度1/200の変位計を用い、これらのデータの取込みは、東京測器製TDS-301を用いNECPC9801にて収録した。

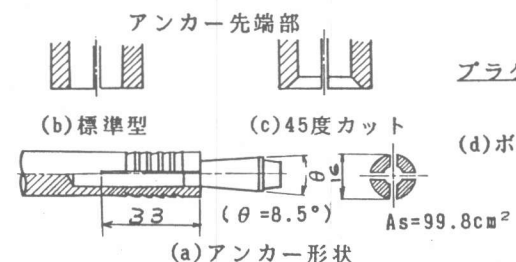


図-3 HEアンカーの詳細

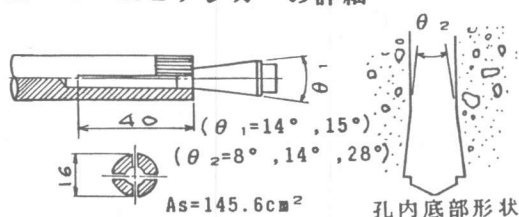


図-4 UXアンカーの詳細

表-1 コンクリート材料試験結果

コンクリート 試験体NO.	打設日	圧縮強度 F_c (kg/cm ²)	割裂強度 σ_t (kg/cm ²)	シュミットハンマー F (kg/cm ²)
1, 2	5/18	161	19.2	1220, 211
3, 4	5/20	238	22.6	3233, 4248
5, 6	5/15	259	24.6	5228, 6223
7, 8	5/26	174	16.4	7202, 8193
9, 10	5/22	300	31.5	9258, 10240
11, 12	5/30	161	16.6	11215, 12178

表-2 アンカーの材料試験結果

試験片 名称	断面積 (cm ²)	測定長 (cm)	降伏応力度 (kg/cm ²)	最大応力度 (kg/cm ²)	伸び率 %
TS	1.228	5.02	6300	6450	13.55
UX	1.221	5.02	5890	5970	15.20
C	1.222	5.01	7700	8970	9.78

材質 (HE, UX--SUM22, C--S45C)

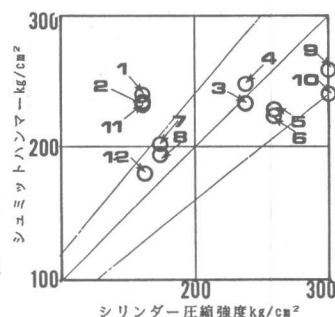


図-2 コンクリート強度

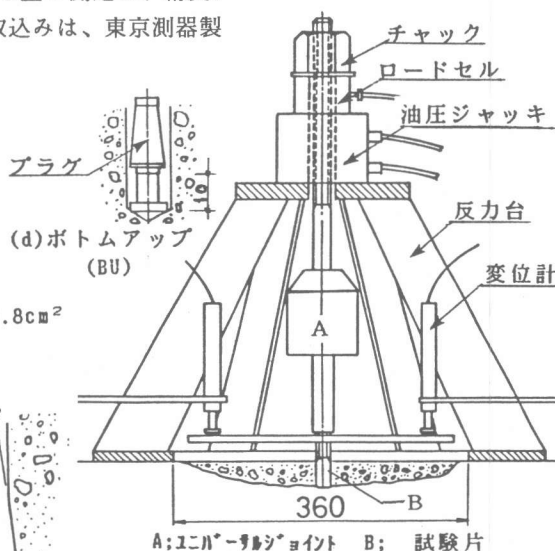


図-5 加力および測定装置

4. 実験結果

4. 1 引抜き力と抜け出し量の関係

引抜き力を受けた場合の抜け出し量について、初期力導入効果、穿孔方法の違い（HEアンカーとUXアンカーの比較）、繰り返し加力の影響、コンクリート強度の影響についてコンクリートのコーン状破壊した試験片を中心に述べる。各図にはアンカーの降伏強度と耐震壁の壁筋との接合を考慮して、鉄筋の降伏強度をD13について、SD30の平均的な降伏応力度を $\sigma_y=3500\text{kg/cm}^2$ として求めた値を示した。

4.1.1 初期力導入効果

図-6は初期力導入効果を調べるため、(a)トルクレンチにより初期力を与えた状態で引抜き力を加えた、(b)一般の施工を行なった。(a)は初期力を導入することで、アンカーとコンクリートの接触が完全になり、引抜き荷重に対して最初から高い剛性を示し、(b)は引抜き力が作用すると、抜け出しを生じたことが図からも明らかである。しかし、ある荷重まで引抜き力を作用させて、一旦荷重を零にしてから再び加力すると、(a)初期力導入と同じ効果が表われ高い剛性を示す。さらに繰り返しを行なっても同じ剛性となり、(a)、(b)ともにコンクリート面と接することが、アンカーの剛性を高め、安定した性状を示した理由と考えられる。これら(a)、(b)の導入力を与える方法は、トルクレンチによる方法、油圧により引上げる方法などが考えられるが、多くの場合抜け出しをとまなうので、抜け出した量を知ることが大切で、コーン破壊に対する抜け出し量の余裕の長さをチェックする必要がある。すなわち、初期力を導入することは、打込んだ位置からの抜け出しを確認しないと危険な場合も生じるので、変位の測定を必ず行なうことが必要である。

4.1.2 穿孔方法の違い

図-7(a)にHEアンカー、(b)にUXアンカーの打込み深さ3d、5d、7dについて引抜き力と抜け出し量の関係を示した。(a)のHEアンカーは打込み深さが増すに従い、強度は上昇するが、抜け出し量は大幅に増える。(b)のUX

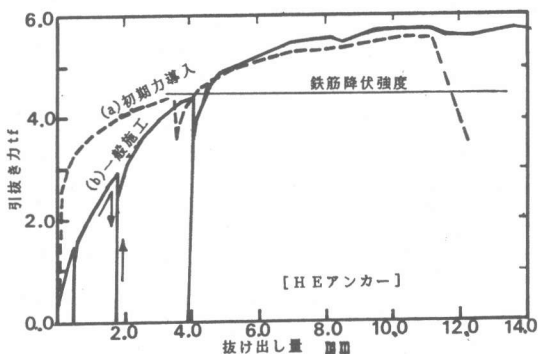


図-6 初期力導入効果

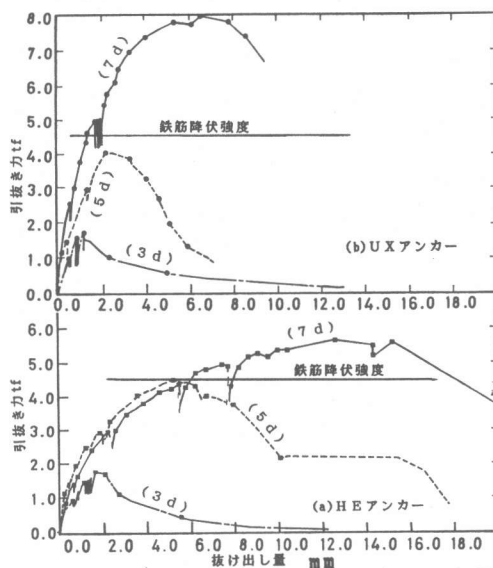


図-7 穿孔方法と強度、抜け出し量の比較

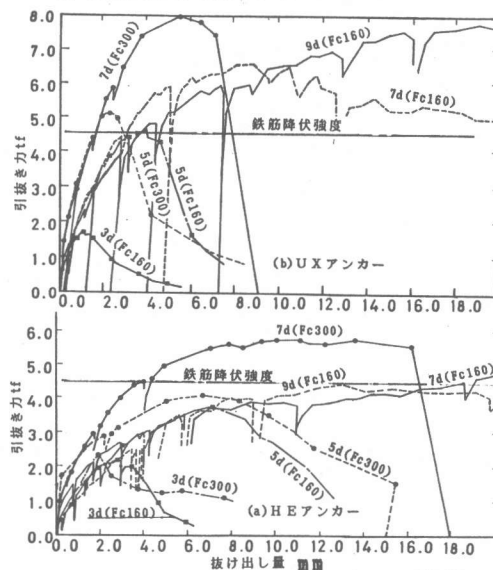


図-8 コンクリート強度の影響

アンカーの最大強度時の抜け出し量は、HEアンカーに比べいずれの打込み長さの場合も小さく、約1/2の抜け出し量に留まっている。この理由として、テーバーを付けたことによりコンクリートとアンカーのかみ合いが始めから生じたためと考えられる。抜け出し量が少ないことは埋め込み深さが大きくなると最大荷重にも影響している。図-7 (a), (b)から7dではコン強度は鉄筋の降伏強度を上回り、3d, 5dでは降伏強度に達していないことが分る。

4.1.3 コンクリート強度の影響

コンクリート強度が引抜き強度、剛性に与える影響を調べるため、図-8 (a), (b)に F_c 160, F_c 300について示した。コンクリート強度が高い場合、強度、剛性の上昇が見られる。鉄筋の降伏強度を越えるものは、(a)では F_c 300の7dのみで、 F_c 160の場合7d, 9dでも降伏強度に達しない。(b)では5d, 7dに対し F_c 160, F_c 300いずれも降伏強度を越えている。

4.1.4 繰り返し加力の影響

図-9に打込み深さ7dのUXアンカーについて、各荷重段階で一回の繰り返し加力を行なったものと、2.5tfと5.0tfでそれぞれ5回づつ繰り返し加力を行なった場合の荷重-変位関係を示した。5回の繰り返し加力によっても大きなずれは見られず、安定した挙動を示している。

4.2 破壊形状

コンクリートに打ち込まれたアンカーに、引抜き力が作用した場合の破壊モードには、①素材の破断、②コンクリートのコーン破壊、③抜け出しの3種類がある。③は、施工不良時に生じるのでここでは除く。①の破壊は、鋼材の材質によるもので、使用材料の選定が問題である。②のコーン破壊は、使用する鋼材、コンクリート強度等の条件によって決る性質の破壊で、設計を行なう場合、コーン破壊強度は一つの目安となっているので、コーン破壊深さが最大耐力に及ばず影響を調べた。図-10にコーン破壊した試験体の実験終了後に測定した、各コンクリート強度における打ち込み深さと最大耐力・コーン深さの関係を示した。コーン深さの求めかたは、ノギスによりX, Yの2方向の測定を行ない中央部の平均値を示した。図-10(a)HEアンカー、(b)UXアンカーとも打ち込み深さ3dを除くと5d~9dはコーン深さは50~80mmの範囲にあり、コーン深さと強度は比例せず、同じコーン深さでも強度に差が見られる。この傾向はHEアンカーに比べUXアンカーに強く表われている。図-11に打込み終了から破壊に至る過程と、アンカー先端部の様子を示した。図-11 (a)はHE, UX両アンカーの打込み深さ7dの強度・変位関係の一例である。Aの範囲は本論で提案する施工段階を表し、荷重がゼロになった時点を施工完了とする。Bの点は最大荷重位置であるが、この点の変位量はHE, UX両者で著しく異なっている。Aから保証荷重までの剛性Kは、アンカー素材の伸びの計算値に近似している。B以降はHEアンカーでは最大耐力以後、急激に耐力低下が起るコーン破壊タイプが多い。UXアンカーは最大耐力に達し、一旦荷重が低下した時点でコンクリート表面のひび割れ、打撃音の観察からまだコーンが形成されていない。さらに加力続けるとすぐにはコーン破壊せず、HEアンカーの最大荷重に近い強度を保持し、コンクリート内壁を削りながら徐々に抜け出す。この状態はコンクリート面を削りながら抵抗して

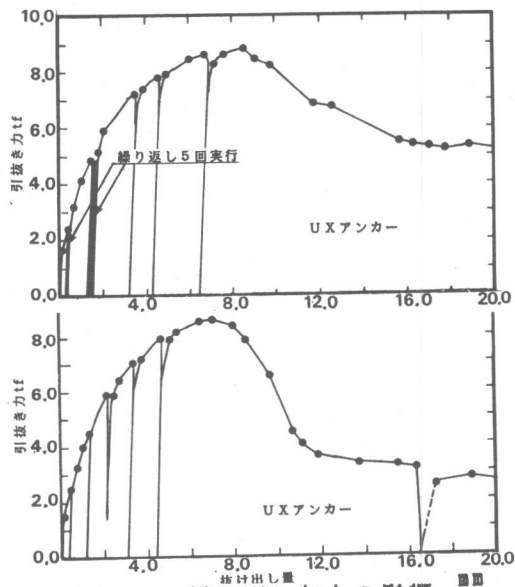


図-9 繰り返し加力の影響

いると考えられるので、ここでは切削効果と呼ぶ。この現象は埋め込み深さが深く、アンカーの素材強度が高い場合に見られる。コーン深さが同じでも強度に差が生じるのは、この切削効果の違いが考えられる。図-11(b)に先端部の拡張力の効果を調べるため、aにBUタイプ、bに普通の施工状態の引抜き力と抜け出し量の関係を示した。この図の δ_1 の範囲は、処女載荷で剛性が低く、大きな抜け出しを呈し、一般の施工の場合と異なった性状を示している。これは一般施工では打込まれたアンカー本体の先端部とプラグ底部はほぼ揃うのにたいし、BUタイプは切り粉を溜める為設けた空隙の影響でアンカー本体が一度プラグ底部より奥の空隙部へ押出される。その後、拡張力が弱まるとともにコンクリートと接触する表面積が減少したことが、低い剛性を示した原因と考えられる。このように底部におけるアンカーの様子は直接確認することが出来ない。そこで、安定した剛性を要求する場合は、必要強度より大きな初期力を与えると δ_2 の範囲に示すように剛性は回復し、設計耐力附近では小さな変形に留っており、一般の施工を行なったものと同じ性状を示す。

4. 3 アンカー先端部の検討

図-12(a)はHEアンカーの先端部の形状、(b)はUXアンカーのプラグの角度を変えた場合の引抜き力と抜け出し量の関係を5dについて示した。図-12(a)を見ると、標準型に比べ内面を45度にカットしたものが最も高い剛性、強度を示した。粉の逃げ場を自由にしたBU型の初期剛性は最も低い。このことは、打ち込

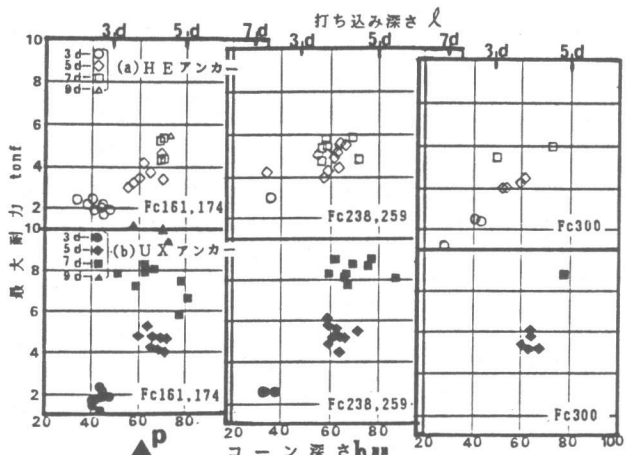
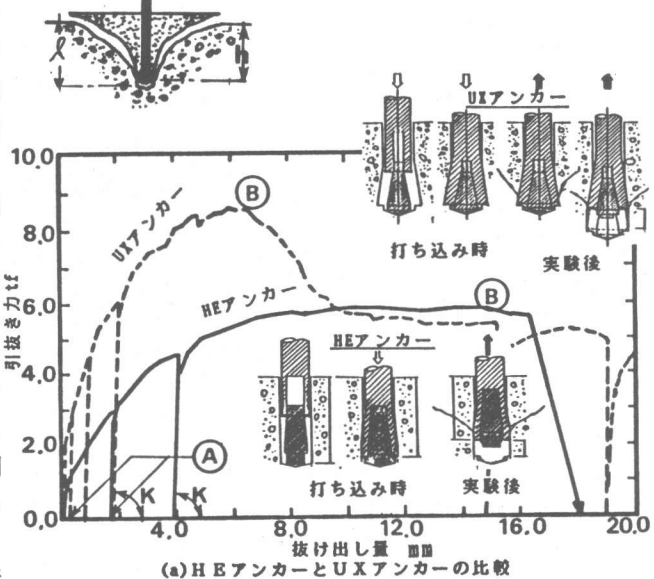
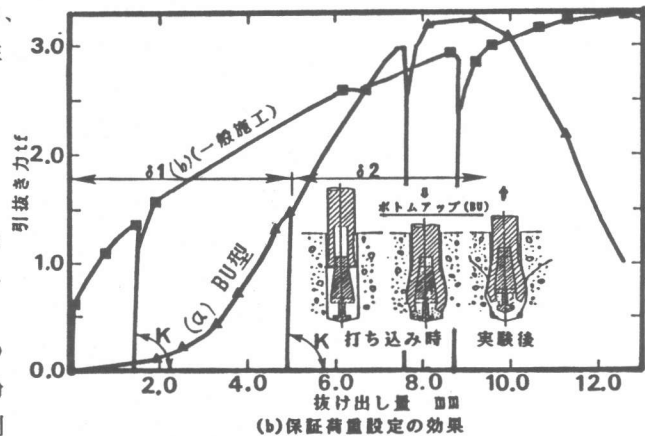


図-10 コーン深さと最大耐力



(a) HEアンカーとUXアンカーの比較



(b) 保証荷重設定の効果

図-11 破壊経過と強度、抜け出し量の比較

みアンカーの場合プラグに沿って進入する時、コンクリートを削るだけではなく、コンクリートに対する接触圧が剛性と強度を大きく支配すると言える。

図-12(b)各角度の組合せを見ると、あまり差は見られない。プラグ角度より穿孔底部の角度を小さくしたものが、やや大きな変形まで耐力を維持している。

5. 結果の考察

5.1 施工完了の確認と保証荷重の設定

現在の施工方法は、打込んだ時点が施工完了であり、コンクリートとアンカーがかみ合っているかどうかのチェックが不十分である。HEアンカーの引抜き力に対する抵抗要素であるコンクリートとのかみ合い、拡張力の効果を発揮させるためには、設計で要求する強度以上に引張力を加え、コンクリートとアンカーをかみ合わせた時点が施工完了とし、この時の引抜き力を保証荷重として設定し、安定した剛性を確保することが重要であると考えられる。

5.2 打撃式アンカーの改良

HEアンカーが広く用いられている理由は、施工が簡単であることが第1の理由であると考えられる。金属系アンカーの種類は、施工方法により何種類かに分類される。最も歴史が古く、一般的なものではHEアンカーで、使用量も多い。しかし、引抜き剛性、耐力が低いことから各タイプのアンカーが考案され、今日に至っている。ここで提案するUXアンカーは、穿孔した底部にテーパを付けるだけの極めて簡単な方法で、コンクリートとのかみ合い効果を増大させ、引抜き剛性、強度を向上させる効果が確認された。

6. まとめ

これまでHEアンカーは抜け出し量が大きく、剛性、強度に対してバラツキもかなりあることから、信頼性に劣っていたが、施工の確認方法の徹底、穿孔用ドリルの改良により、安定した剛性が得られる可能性を確認した。打込み深さとコンクリート強度は、引抜き強度に影響するので、使用箇所・要求強度に応じて打込み深さを決める必要がある。高い剛性や、各アンカーに均等な剛性を要求する場合は、打込んだ後、保証荷重を設定することが重要であることが確認された。さらに今後、実験資料を分析し設計式について検討して行きたい。

謝辞

この研究を行なうにあたり、(株)ミヤナガ七島建志、日本ドライブイット(株)矢幡秀介、永野紀三郎、真田健男の各氏には実験準備、実施、機器の製作で大変お世話になりました。実験データの整理等では東大大学院生北山和宏、李康寧君の協力を得た。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会編；耐震補強ハンドブック、技報堂出版、1984
- 2) 日本建築学会；各種合成構造設計指針・同解説、1985

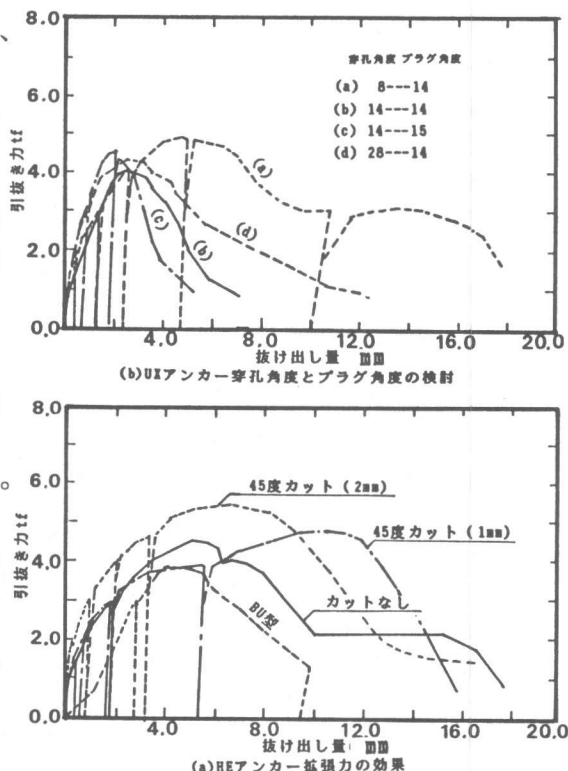


図-12 アンカー先端部の検討