

多数アンカー式擁壁に用いたショート アンカーボルトの引抜き耐力

日野 伸一*・浜田 純夫*・兼行 啓治*・長谷川 博**

Tensile Capacity of Short Anchor Bolts
Used in Multiple-Anchored Retaining Wall

Shin-ichi HINO, Sumio HAMADA, Keiji KANEYUKI and Hiroshi HASEGAWA

Abstract

Precast multiple-anchored walls have been used in concrete retaining walls due to its quick and economic construction. A short anchor bolt embedded in such wall and slab structures, whose depth are shallow, do not have sufficient embedment length to develop tensile yield stress in the bolt.

The purpose of this study is to provide design data and an improvement in tensile capacity of short anchor bolts. As the results of the study, use of the anchor plate provides greater ultimate strength for such a short anchor bolt developed in concrete and ultimate strength formula based on the idealized conical failure can correctly estimate its tensile capacity. Reinforcement in concrete can increase ultimate strength and ductility after the initiation of cracking. In addition, design considerations for the multiple-anchored retaining wall were suggested on the basis of the experimental results.

1. まえがき

工事の急速施工, 省力化などから, 最近ではコンクリート工事のプレキャスト化が進んでいる. コンクリート擁壁もその一つで, プレキャスト化された多数アンカー式擁壁がかなり用いられるようになってきた. 多数アンカー式擁壁とは, Fig. 1 に示すように, アンカーボルトを用いて擁壁ブロックと連結したアンカープレート付きのタイバーを, 盛土の中にサンドイッチ

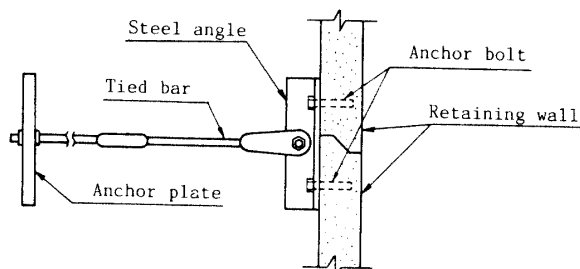


Fig. 1 Anchor bolt of multiple-anchored retaining wall

状に埋設していくことにより, 擁壁背面に作用する土圧と, タイバーを介してのアンカープレートの支圧力を平衡させ, 盛土を安定させるものである.

このようなプレキャスト擁壁やスラブなど, 比較的部材厚の薄いコンクリート部材に埋め込まれたアンカーボルトに引張力が作用した場合, アンカーボルトの定着長が不十分で, かつコンクリート部材の曲げ剛性が小さいために, 通常のコンクリート定着部の破壊パターンであるコーン状破壊に先行して付着破壊や曲げひびわれを起こし, 耐力や変形性能の低下が懸念される. また, コンクリート部分の耐力が, アンカーボルトの鋼材としての引張強度を上回ってれば, ボルトの破断により耐力を決定することができ, アンカーボルトの設計はきわめて容易なものとなる.

以上のような観点から, 本研究は, 埋込み長が十分に確保できない, いわゆるショートアンカーボルトの設計資料を得る目的で行ったもので, ショートアンカーボルトの引抜き抵抗の改善に対するシアプレート(定着板)や補強鉄筋の影響について実験的に検討した.

2. アンカーボルトのタイプによる比較実験

2.1 実験概要

*土木工学科

**工業短期大学部土木工学科

2.1.1 供試体

本章では、実際に多数アンカー式擁壁の擁壁ブロックを使用して、タイプの異なる Fig. 2 に示すような 4 種類のアンカーボルトの引抜き試験を行い、各タイプのアンカーボルトの引抜き抵抗について比較検討した。いずれのアンカーボルトも $\phi 22$ (SS41) のタイバーを対象としたもので、六角形のカプラー端部にシアプレート溶接した A タイプ、普通丸鋼 $\phi 22$ を U 字形に折り曲げ、1 本の埋込み鉄筋の両端をアンカーボルトとした B、C タイプ、および異形鉄筋 D38 に $\phi 22$ のねじを切ってカプラーとし、それにアンカー鉄筋を溶接した D タイプである。

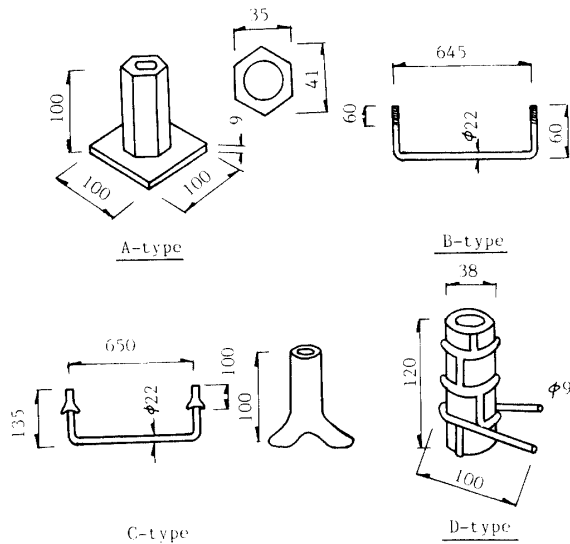


Fig. 2 Details of test anchor bolts

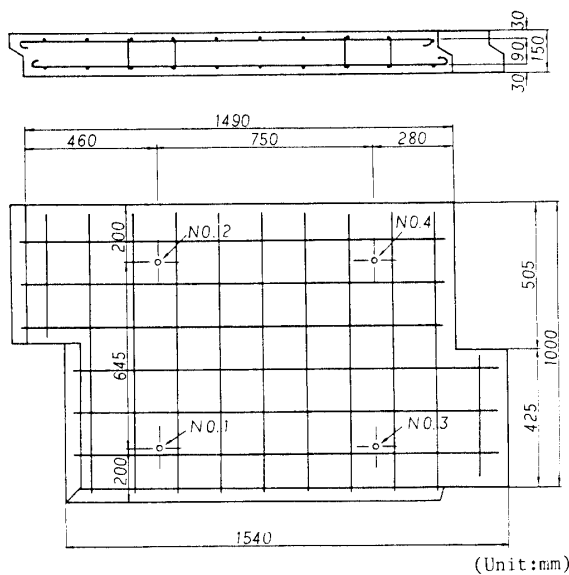


Fig. 3 Dimensions of concrete specimen

コンクリート供試体は Fig. 3 に示すような形状、寸法とし、図中 No. 1~4 の位置にそれぞれ同一タイプのアンカーボルトが埋込まれた。なお、試験時のコンクリートの圧縮、引張強度の平均値はそれぞれ 227, 26 kg/cm² である。

2.1.2 載荷方法

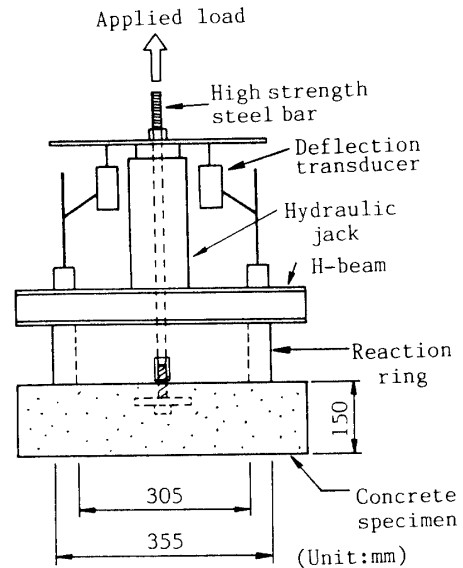


Fig. 4 Pull-out test arrangement

引抜き試験は、Fig. 4 に示すようにアンカーボルト周辺の境界条件が等しくなるように載荷リングを介してセンターホールジャッキにより載荷した。載荷速度は 50kg/sec とし、荷重 0.5 t ごとに荷重およびボルトの拔出し量を記録した。荷重は引抜き棒鋼に貼付したワイヤストレインゲージより求め、拔出し変位の測定には電気式変位計 CDP-50 (東京測器研究所製) を用いた。

2.2 実験結果および考察

2.2.1 引抜き耐力

Table 1 Ultimate load of tested anchor bolts

(Unit : t)

No	A	B	C	D
1	19.6	9.8	11.4	10.2
2	15.1	8.5	9.5	9.3
3	18.6	9.0	11.7	11.1
4	15.0	10.1	11.4	10.5
Average	17.0	9.4	11.0	10.3

Table 1 に各タイプのアンカーボルトの引抜き耐力を示す。破壊パターンは、いずれもコンクリートのコーン状破壊である。表より明らかなように、シアプレートに有する A タイプの耐力が大きく、他のタイプに比べ55~80%の耐力増加を示した。

2.2.2 変形状

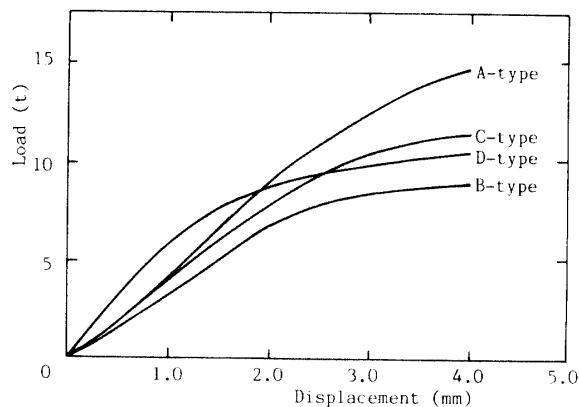


Fig. 5 Load-displacement relationships

Fig. 5 に各種アンカーボルトの荷重-拔出し量曲線の比較を示す。A タイプを除く 3 タイプの変形状は類似している。すなわち、アンカーボルトの拔出し量は荷重の増加と共にだだらかに増加し、3~4 mm の拔出し量で荷重がピークに達し、コンクリートの破壊に至った。これに対して、A タイプは比例限度以後の支持耐力が大きい。また、D タイプは引抜きに対する初期剛性が最も大きい。これは、異形鉄筋による機械的付着力の増加によるものである。

3. 頭付きアンカーボルトの引抜き抵抗の改善に関する実験

3.1 実験概要

前章の実験結果より、埋込み深さの浅いショートアンカーボルトとして効果的と考えられる A, B の両タイプのアンカーボルトに対し、シアプレートの大きさ、コンクリート部の補強鉄筋が、ボルトの引抜き抵抗に及ぼす影響について実験的に考察を行った。使用したアンカーボルトは、Fig. 6 に示すように頭部および軸部の直径がそれぞれ40mm, 22mm の頭付きアンカーボルト (A タイプ) と、異形鉄筋 D32 にめねじを切り、その中に軸部直径22mm の頭付きアンカーボルトをねじ込んだもの (B タイプ) である。また、それぞれに対して、厚さ10mm で直径を 6, 9, 12cm と変化させた円形のシアプレートを付けた。アンカーボルトの有効埋込み長は 9 cm (シアプレートのないものは

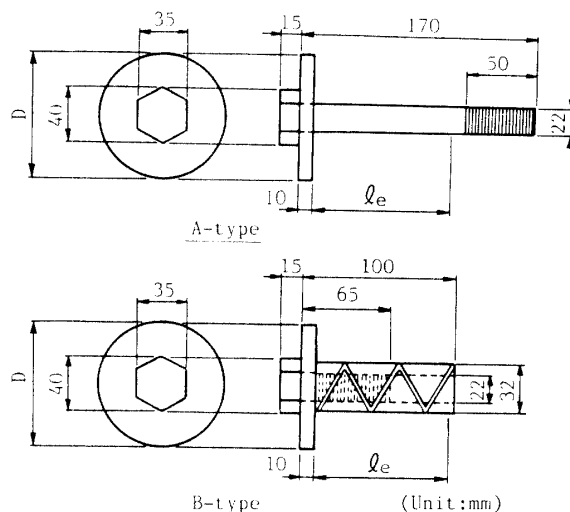


Fig. 6 Details of test anchor bolts

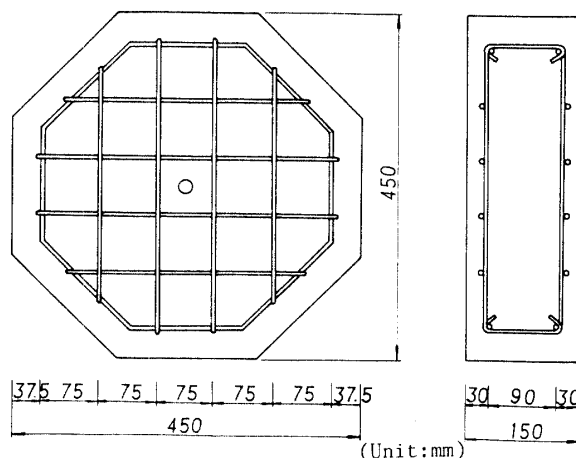


Fig. 7 Dimensions of concrete specimen

10cm) と一定にした。一方、コンクリート供試体は、載荷リングの大きさを考慮して Fig. 7 に示すような一辺約20cm の正八角形で厚さ15cm とした。コンクリートの鉄筋補強の種類は、無筋 ($p^*=0\%$) のほかに丸鋼 $\phi 6$ および $\phi 9$ (SR24) をそれぞれ7.5cm ピッチに水平方向に配置した $p^*=16, 24\%$ の 2 種類とした。ここで、 p^* は鉄筋と同一平面内のコンクリートに対する鉄筋の断面積比率を表す。なお、コンクリートの試験時の圧縮および引張強度の平均値はそれぞれ324, 32kg/cm² である。載荷方法ならびに測定項目は前章と同様である。

3.2 実験結果および考察

3.2.1 引抜き耐力

引抜き試験結果を Table 2 に示す。表中、() 内の数値はひびわれ発生荷重である。アンカーボルトの埋込

Table 2 Ultimate load of tested anchor bolts

Anchor bolt	Type	No	D(cm)	le(cm)	Ultimate load Pu (t)		
					Reinforcement ratio p*(%)		
					0	16	24
A	A0	0	10.0	6.3(6.1)	9.7(9.7)	11.0(10.6)	
	A1	6.0	9.0	7.4(7.4)	9.8(9.8)	14.4(11.0)	
	A2	9.0	9.0	8.7(8.7)	9.9(9.9)	15.0(10.6)	
	A3	12.0	9.0	10.0(7.8)	11.0(9.4)	16.0(9.8)	
B	B0	0	10.0	6.0(6.0)	7.7(7.7)	8.0(8.0)	
	B1	6.0	9.0	6.9(6.8)	7.9(7.4)	9.8(7.0)	
	B2	9.0	9.0	7.5(7.3)	10.9(7.0)	12.9(8.7)	
	B3	12.0	9.0	9.1(6.8)	11.6(7.5)	14.2(8.3)	

み深さが特に大きくなければ、コンクリートのコーン状破壊が頭部の支圧破壊に先行することが一般に知られており、本実験においても、供試体の破壊パターンはすべてコーン破壊であった。

(a)有効水平投影面積の影響

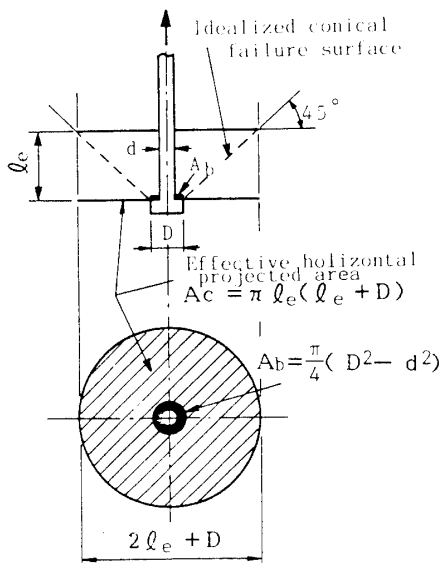


Fig. 8 Idealized conical failure surface for anchor bolt

コーン破壊型の引抜き耐力 P_u の評価に対しては、Fig. 8 に示すように破壊面を45°に想定して、コンクリート表面に投影した面積、いわゆる有効水平投影面積 A_c にコンクリートの引張強度 f_t を乗じたものを基準とするのが一般的とされている。日本建築学会¹⁾では $f_t = \sqrt{f'_c}$ (kg/cm²)、ACI Building Code²⁾では、 $f_t = 4 \sqrt{f'_c}$ (psi) (f'_c : コンクリートの設計基準強度又は圧縮強度の特性値)と仮定して、それぞれ

$$P_u = \sqrt{f'_c} A_c \text{ (kg)} \quad \text{---(1)}$$

$$P_u = 4\sqrt{f'_c} A_c \text{ (lb)} \quad \text{---(2)}$$

ここに

$$A_c = \pi l_e (l_e + D) \quad \text{---(3)}$$

と規定されている。また、Holmes³⁾や TVA Civil Design Standard⁴⁾では、有効水平投影面積 A_c の代わりに、頭部の面積も包含した全水平投影面積 A_o を用いて、それぞれ

$$P_u = 0.24\sqrt{f'_c} A_o \text{ (kN)} \quad \text{---(4)}$$

$$P_u = 4\sqrt{f'_c} A_o \text{ (lb)} \quad \text{---(5)}$$

ここに

$$A_o = \frac{\pi}{4} (2l_e + D)^2 \quad \text{---(6)}$$

としている。

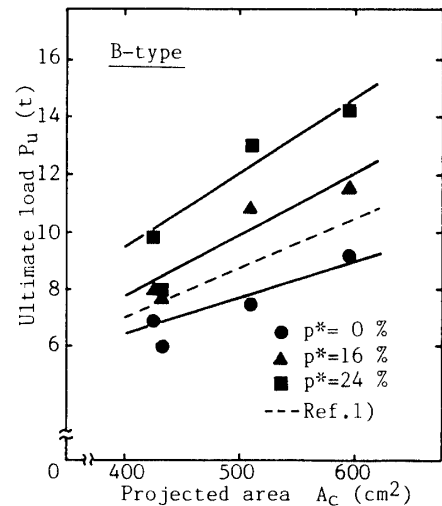
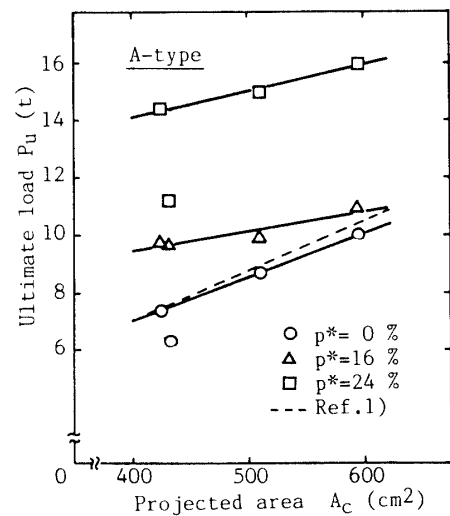


Fig. 9 Ultimate load-effective horizontal projected area relationships

そこで、本実験の結果についても、引抜き耐力と有効水平投影面積の関係を Fig. 9 に示す。シアプレート付きのアンカーボルトに対して、A、B 両タイプとも P_u と A_c の間に直線関係が認められる。特に、A タイプ

の無筋供試体の実験値は、図中の破線で示した日本建築学会の評価式とよく一致していることがわかる。また、松崎⁵⁾は、無筋コンクリートにおいて、アンカーボルトの頭部形状を一定として主として埋込み深さによる有効水平投影面積を変化させた実験を行い、コーン破壊耐力の平均値は次式で推定できることを報告している。

$$P_u = 0.015A_c \quad (t) \quad \text{---(7)}$$

埋込み深さを一定にし、シアプレートの面積を変化させた本実験においても同様の結果が得られ、A、B両タイプの平均破壊耐力は次式のとおりである。

$$A \text{ タイプ: } P_u = 0.019A_c - 1.18 \quad (t) \quad \text{---(8)}$$

$$B \text{ タイプ: } P_u = 0.015A_c - 0.17 \quad (t) \quad \text{---(9)}$$

次に、ひびわれ発生荷重 P_{cr} と有効水平投影面積の関係を Fig. 10 に示す。これより、シアプレート面積による有効水平投影面積の増加に対して、ひびわれ耐力は増加しないこと、また、鉄筋補強のひびわれ防止は、あまり期待できないことが明らかである。

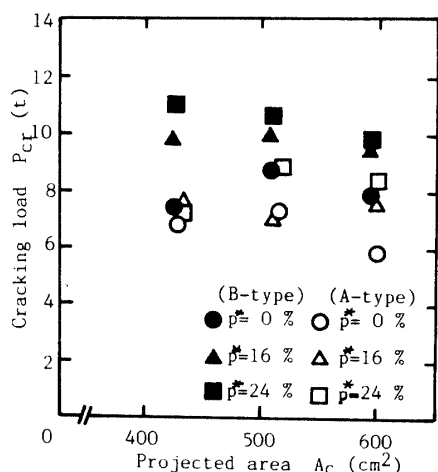


Fig. 10 Cracking load-effective horizontal projected area relationships

(b) 支圧応力の影響

引抜き耐力 P_u とアンカーボルトの支圧面積(アンカーボルトの頭部またはシアプレートの面積) A_b の関係を Fig. 11 に示す。図より、有効水平投影面積では不連続であったシアプレートの有無による引抜き耐力の変化が支圧面積によって定性的に関係づけられることがわかる。そこで、コーン破壊耐力を示すパラメータ $P_u / \sqrt{f'_c} A_c$ とアンカーボルトの支圧応力度 P_u / A_b との関係について考察したのが Fig. 12 である。これより、コーン破壊耐力は支圧応力度の大きさにほとんど影響されないことがわかる。

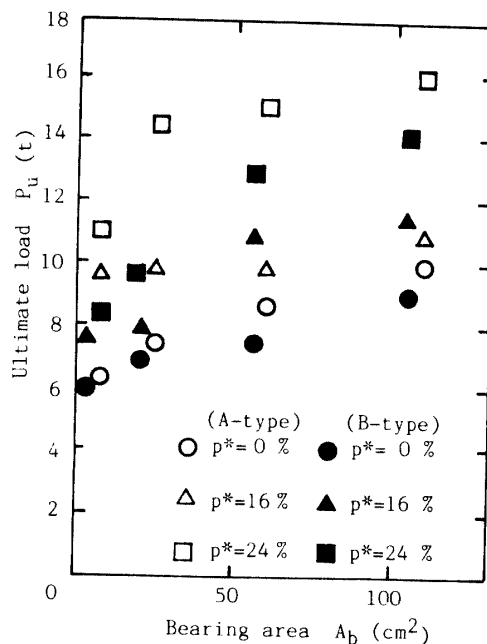


Fig. 11 Ultimate load-bearing area relationships

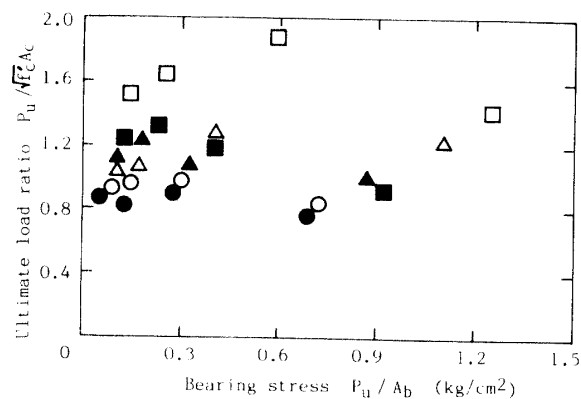


Fig. 12 $P_u / \sqrt{f'_c} A_c - P_u / A_b$ relationships

(c) 鉄筋補強の影響

コンクリートの鉄筋補強によるアンカーボルト引抜き耐力の影響を考察するため、 $P_u / \sqrt{f'_c} A_c$ と補強鉄筋比 p^* の関係を Fig. 13 に示す。総体的に、補強鉄筋量の増加につれて、破壊耐力も増加する傾向が認められ、その傾向は B タイプよりも A タイプの方が顕著に現われている。特に、 $p^* = 24\%$ の鉄筋補強を施した場合、無補強の場合に比べて A タイプで 40%、B タイプで 20% 以上の耐力増加を示している。コーン破壊耐力 P_u と補強鉄筋比 p^* の関係を一次関数と仮定し、最小二乗法を用いて整理すれば、次式ようになる。

$$A \text{ タイプ: } P_u = \sqrt{f'_c} A_c (2.60p^* + 0.88) \quad (t) \quad \text{---(10)}$$

$$B \text{ タイプ: } P_u = \sqrt{f'_c} A_c (1.38p^* + 0.86) \quad (t) \quad \text{---(11)}$$

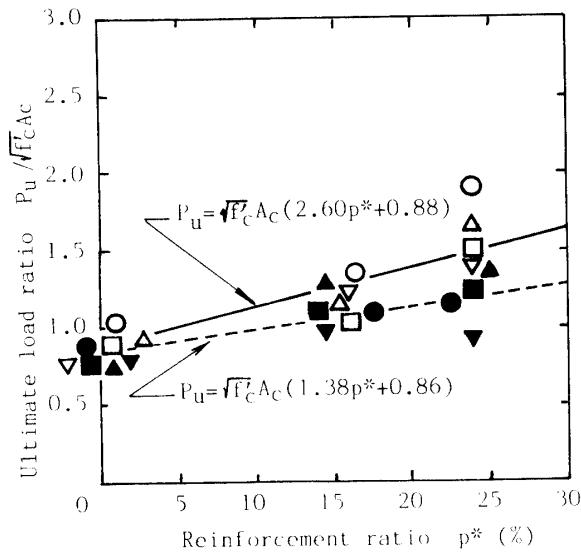


Fig. 13 $P_u / \sqrt{f'_c} A_c - p^*$ relationships

本実験では、コンクリートの鉄筋補強を水平方向のみに限定したが、破壊パターンから考察して、その配

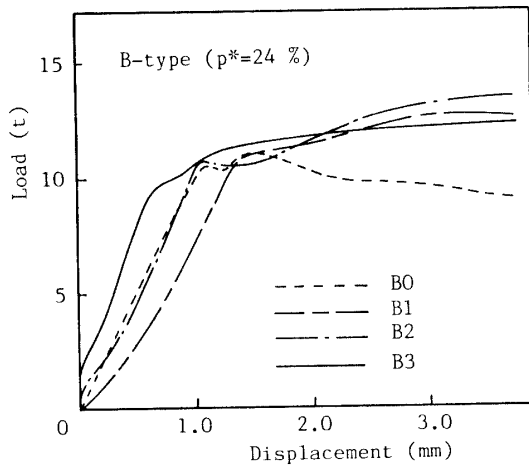
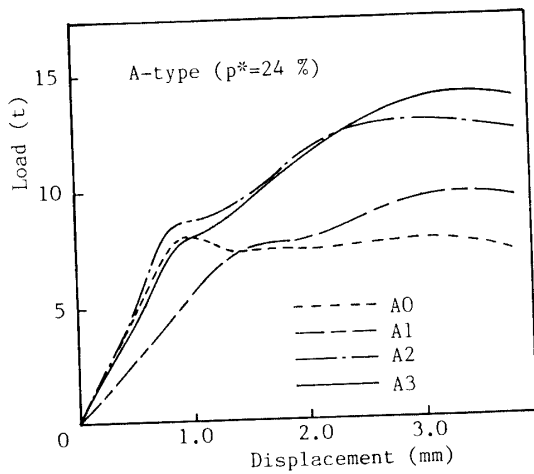


Fig. 14 Load-displacement relationships ($p^* = 24\%$)

筋方向の有効性についても検討の必要性がある。

3.2.2 変形性状

アンカーボルトの荷重-拔出し量曲線を、 $p^* = 24\%$ の場合について Fig. 14 に示す。耐力に比べて変形量のばらつきは大きかったが、概ね次のことがいえる。タイプ別の比較では、異形カブラを有する B タイプの方が A タイプよりも初期剛性が高い。これは、2章の実験結果と一致している。また、両タイプともにシアプレートの支圧面積あるいは有効水平投影面積の初期剛性に及ぼす影響は特に認められない。鉄筋補強の影響は、ひびわれ発生荷重に相当する各曲線の比例限度まではみられない。しかし、比例限度以降においては、シアプレートを有するアンカーボルトで荷重増加が著しく、また、かなりの変形増加に対しても終局耐力を保持し続けることがわかる。これらのことより、地震荷重や頻繁な繰返し荷重を受けるアンカーボルトに対しては、コンクリート部への鉄筋補強が必要不可欠である。

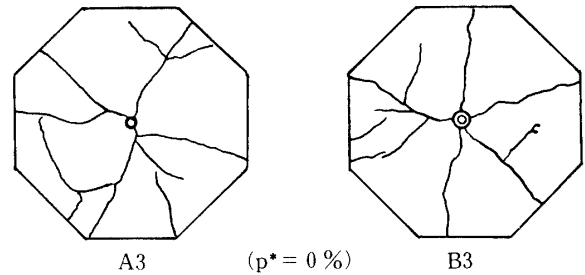


Fig. 15 Crack pattern after failure

次に、破壊後のコンクリートのひびわれ状況を Fig. 15 に示す。いずれも、放射状にひびわれが進展し、鉄筋補強の差により、進展速度は異なるが、最終的なひびわれ分布は類似している。

3.3 設計に関する一考察

アンカーボルトが使用される接合部は、構造上きわめて重要であるにもかかわらず、土木構造物に対するアンカーボルトの統一的な設計基準、指針などは未だ完備されていないのが現状である。日本建築学会では昭和59年5月に「各種合成構造設計指針」が制定され、同指針中に「各種アンカーボルト設計指針」が含まれている。これによると、鉄筋コンクリート構造に定着された頭付きアンカーボルト1本あたりの許容引張力は、コーン破壊、支圧破壊およびボルトの降伏により決まる許容引張力の内、最も小さい値を採ることになっている。そこで、本実験結果とコーン破壊により決まる許容引張力 P_{ai} を比較したのが Fig. 16 である。こ

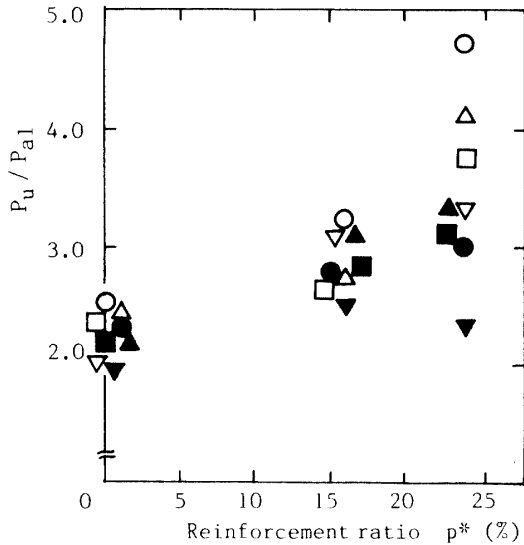


Fig. 16 Comparison of experimental and AIJ design loads

ここで、 P_{a1} は式(1)より算定される P_u に長期荷重用時の低減係数 $\phi_1=0.4$ を乗じたものである。図より、無筋供試体の場合で2.0~2.5、 $p^*=24\%$ の鉄筋補強を施した場合でおよそ3~4倍の安全率をもつことがわかる。

Fig. 17は、同様に本実験結果をACI Codeに規定さ

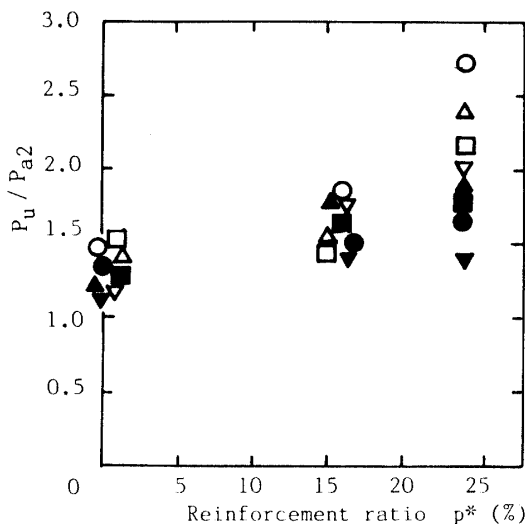


Fig. 17 Comparison of experimental and ACI design loads

れる設計耐力 P_{a2} と比較したものである。終局荷重設計法に基づくACI Codeの耐力と比較しても十分余裕がある。

次に、設計例として、A、Bタイプのアンカーボルトの引抜き耐力とコンクリート構造部材の曲げ耐力より、多数アンカー式擁壁の許容限界高さ H_{cr} を計算する。

ここで、アンカーボルトの引抜き耐力は本実験結果より、式(10)、(11)に基づくものとし、安全率を2.5と仮定した。コンクリートの擁壁部材の諸元およびアンカーボルト埋込みの位置は、Fig. 3と同じものを使用し、コンクリートの設計基準強度は 300kg/cm^2 、また、設計に用いる見かけ上の土圧分布は、上載等分布荷重 1.0t/m^2 、主働土圧係数0.4と仮定した。

計算結果をFig. 18に示す。図中、右上りの直線はア

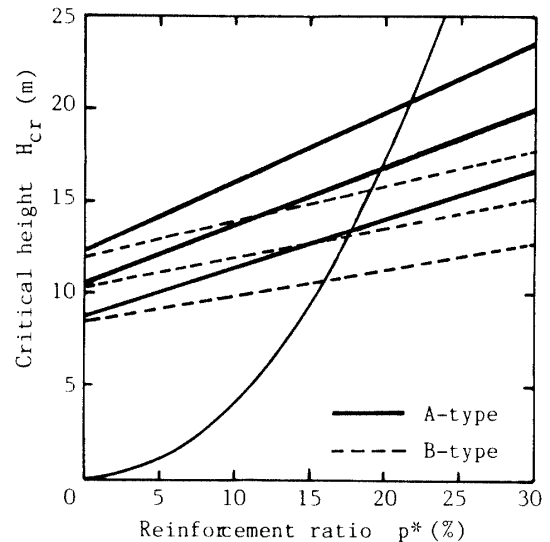


Fig. 18 Critical height of multiple anchor-type retaining wall

ンカーボルトの耐力より定まる H_{cr} 、また、放物線はコンクリートの曲げ耐力より定まる H_{cr} を表わしている。なお、擁壁コンクリートの鉄筋配置は等方配筋として鉄筋量を換算した。図より、 $p^*=16\%$ の場合には、アンカーボルトの耐力よりもコンクリートの曲げ耐力で決まる H_{cr} の方が小さく、結局、 $H_{cr}=10.8\text{m}$ となる。また、 $p^*=24\%$ の場合には、逆にコンクリートの曲げ耐力よりもアンカーボルトの耐力で決まる H_{cr} の方が小さく、たとえばB1のアンカーボルトで 12.0m 、A3のボルトで 21.2m である。

4. まとめ

ショートアンカーボルトの引抜き抵抗の改善に対するシアプレートや鉄筋補強の影響について、実験的研究を行った結果、次のような結論が得られた。

(1)埋込み深さの浅いショートアンカーボルトの定着には、シアプレートを用いることが効果的であり、その引抜き耐力の評価には、従来からのコーン破壊型の耐力算定式の適用が可能である。

(2)コンクリートのひびわれ発生荷重は、シアプレー

トの面積や補強鉄筋量に関わりなく、ほぼ一定である。

(3)コンクリートの鉄筋補強は、ひびわれ発生以後の耐力増加や変形性能の向上に効果的である。

(4)異形カプラーによるアンカーボルトの機械的付着は、引抜きに対する初期剛性を高めるが、耐力的にはむしろ低下する傾向がある。

(5) A, B 両タイプのアンカーボルトは、日本建築学会や ACI の設計耐力と比較しても十分な安全性を有しており、プレキャスト擁壁などの土木構造物への適用も、設計施工上の問題は特にない。

最後に、本研究にあたり、多大なる御協力を賜った岡三興業(株)開発部の梅林文夫氏、丸山健吉氏および卒業研究として実験を遂行して頂いた栗山雅裕君（現、日本 PS コンクリート(株)）に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会：各種アンカーボルト設計指針（1984）
- 2) ACI Committee 349: Proposed Addition to ; Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures (ACI 349-76), 75, No. 8 (1978)
- 3) Holmes, M. and Martin, L. H. : Analysis and Design of Structural Connections ; Reintored Concrete and Steel (1983)
- 4) TVA Civil Design Standard : Concrete Anchorage, No. DS-C6-1, Tennessee Valley Authority, Knoxville (1975)
- 5) 松崎育弘：コンクリート部材に定着したアンカーボルトの支持耐力，コンクリート工学，22，No. 7 (1984)

(昭和60年10月15日 受理)