

[102] 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

正会員 上村 克郎 (宇都宮大学工学部)

小西 敏正 (宇都宮大学工学部)

正会員 ○橋高 義典 (宇都宮大学工学部)

関 和彦 (竹中工務店)

1. はじめに

構造部材または各種設備機器などのコンクリート軸体への接合には、様々な種類のアンカーボルトが使われている。中でもコンクリート軸体を穿孔し、ボルト先端部を機械的に開かせることにより固定させる方法、いわゆる「メカニカルアンカーボルト」は、位置決めが正確にできること、施工が簡単であることなどの特徴から、建築現場での需要が増加している。しかしながら、その耐力に関しては不明確な点が多く、特に引抜き耐力におよぼすコンクリート母材の性質の影響を体系的に研究した例は少ない。

本研究は、メカニカルアンカーボルトの引抜き耐力について、コンクリート母材の性質との関係を考察するとともに、引抜き耐力の推定式を提示することを目的とした。なお、今回は、コンクリートの性質に着目するため、アンカーボルトの埋め込み深さは一定とし、埋め込み深さによる影響は今後の課題とした。

2. 実験概要

1) 調合条件

小坂氏ら¹⁾はメカニカルアンカーボルトの引抜き耐力に及ぼす粗骨材の径の影響を検討している。本研究では、粗骨材量に着目するとともに広範囲のコンクリートの条件を考慮し、水セメント比(W/C)を40, 50, 60, 80(%)の4条件、単位粗骨材量(Vg)を0, 300, 400, 500(1/m³)の4条件、合計16の調合条件とした。単位粗骨材量が同一条件のものについては、ペーストの絶対容積が等しくなるようにした(ペーストと砂の絶対容積比=1)。各条件のコンクリートの性質を表-1に示す。

2) 使用材料

実験に使用した材料は以下のとおりである。

セメント:普通ポルトランドセメント、比重3.15

粗骨材:粒径25mm以下の鬼怒川産川砂利、吸水率1.94%

細骨材:粒径5mm以下の鬼怒川産川砂、吸水率1.66%

3) 供試体および試験方法

供試体の形状は図-1に示すブロック状とし、側面表裏に5本のアンカーボルトをセットすることにした。また、圧縮試験および割裂引張試験用供試体(10cmφ×20cm)を各調合条件について3体ずつ作製した。試験材令は28日であり、脱型後試験までは室内において濡れマットによる気中養生とした。

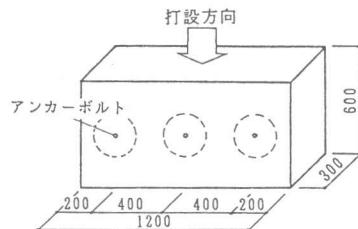


図-1 供試体(単位:mm)

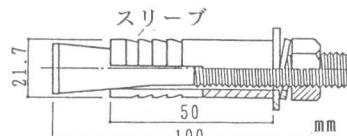


図-2 使用したアンカーボルトの形状

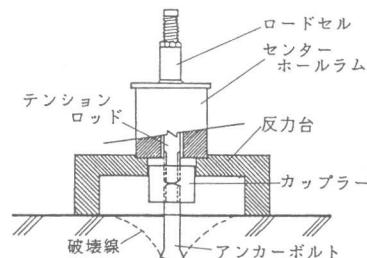


図-3 引抜き試験装置

表-1 コンクリートの性質

Mix No.	計画調合:絶対容積(1/m ³)				W/C (%)	スランプ(cm)	()内はフロー値(mm)	空気量(%)
	水	セメント	砂	粗骨材				
0040	273	217			40	(189)	3.9	
0050	300	191	490	0	50	(222)	2.5	
0060	320	170			60	(243)	2.7	
0080	351	139			80	(274)	1.3	
3040	192	153			40	14.8	2.0	
3050	211	134	345	300	50	22.5	2.1	
3060	226	119			60	23.5	2.2	
3080	247	98			80	25.3	0.0	
4040	164	131			40	4.3	1.4	
4050	181	147	295	400	50	16.5	2.6	
4060	193	102			60	19.0	3.1	
4080	211	84			80	20.8	0.4	
5040	137	104			40	0.0	1.5	
5050	150	95	245	500	50	0.0	2.9	
5060	160	85			60	1.1	1.8	
5080	175	70			80	10.7	0.8	

使用したアンカーボルトは図-2に示すメカニカルアンカーボルトであり、セットしたときのスリープの拡張角度は11°である。

所定材令に達した供試体にアンカーボルトを深さ5cmで埋め込み、図-3に示す引抜き試験装置により、引抜き耐力を測定した。

3. 実験結果および考察

引抜き試験による破壊状況はコーン状(逆富士山状)破壊となった(写真-1)。しかしながら、すべての試験体が理想的なコーン状ではなく、破壊錐体の投影面が円形状でないもの、破壊錐体が小さなものなどもみられた。これらの原因としては、コンクリートの不均一性、アンカーボルトの施工精度のバラツキなどがあげられる。

1) 水セメント比と引抜き耐力との関係

コンクリート母材の水セメント比と引抜き耐力の平均値 P_u との関係を図-4に示す。これより、引抜き耐力は水セメント比に大きく影響を受けることがわかる。これは、引抜き耐力が主としてコンクリートの引張強度に支配されているためと考えられる。

2) 粗骨材量と引抜き強度との関係

コンクリート母材の粗骨材量 V_g と引抜き耐力 P_u との関係を図-5に示す。ただし、図中の折れ線は各供試体での測定値の平均値を結んだものである。

測定値のバラツキが大きいので明確な傾向は見られないが、W/Cが40, 50%の場合には粗骨材量が増加するほど引抜き耐力は高くなっている。一般に粗骨材量が増加するとコンクリートの圧縮および引張り強度は低下することが知られているが²⁾、ここでは逆の結果となった。なお同様の傾向が先付けアンカーでの引抜き試験結果(W/C=53%)でも指摘されている³⁾。これは、破壊面の骨材量の増加に伴い、剪断剛性が増すためと考えられる。

W/Cが80%と高い場合にはこのような傾向は見られないが、これは過度のブリージングにより、粗骨材の下面だけではなく、側面にも欠陥を生じることにより、引張強度の低下が卓越するためと考えられる。

以上のように引抜き耐力に及ぼす骨材の影響は複雑であり、明確な傾向を把握するためには、より多くのデータの集積が必要である。

3) 割裂引張り強度と引抜き耐力との関係

コンクリート母材と同一調合、同一養生条件の円柱供試体の割裂引張り強度 σ_t と引抜き耐力 P_u との関係を図-6に示す。両者の対応はよく、これより割裂引張り強度により引抜き耐力のおおよその値を推定することが可能といえる。

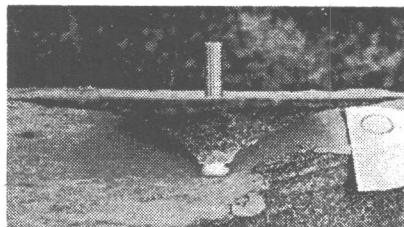


写真-1 破壊錐体の形状

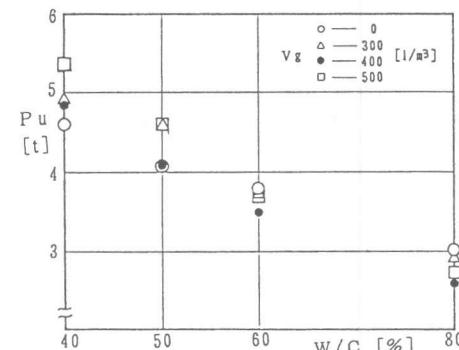


図-4 水セメント比と引抜き耐力との関係

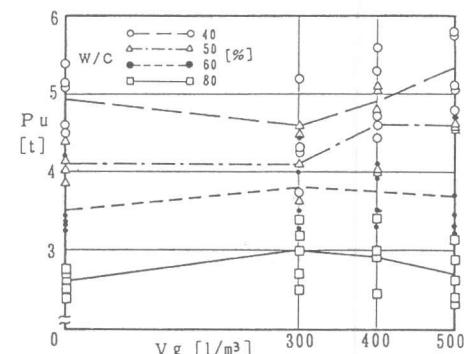


図-5 粗骨材量と引抜き耐力との関係

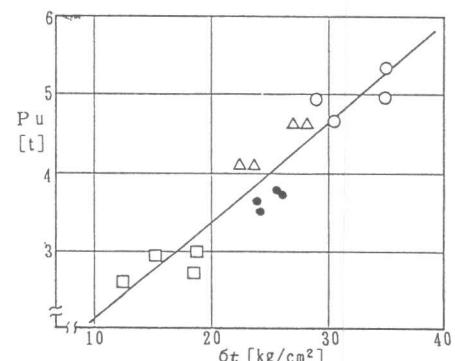


図-6 コンクリート引張り強度と引抜き耐力との関係

4. メカニカルアンカーボルトの引抜き耐力推定式に関する検討

アンカーボルトの引抜き耐力推定式には、有効投影面積という概念を用いるもの⁴⁾、破壊面の形状を考慮に入れた応力分布より求めるもの⁵⁾などがある。ここでは、本研究で用いたメカニカルアンカーボルトのコンクリートへの定着部(スリープ部)の形状が、他のアンカーボルトと異なる点に着目し、それらを考慮した破壊性状の検討より、引抜き耐力の推定式を求ることとした。

1) 推定方法の概要

本研究では、松藤・河村・佐治氏⁵⁾らの解析方法を参考に推定式を求めた。まず、試験後の供試体から破壊断面の深さを実測し、その平均値で破壊線を仮定する。参考のために、有限要素法による軸対称の弾性二次元解析を行い、仮定した破壊線の妥当性を確認する。次に、その破壊線に沿って分布する垂直応力がコンクリート引張強度に達したときに破壊が生ずると仮定し、その垂直応力の合力と引抜き耐力とのつり合いより引抜き耐力推定式を求める。ここで、前述の松藤氏らの求めた推定式を次に示す。

$$P = \sigma t \pi (A h^2 + 2 B d h) \quad \text{式-1}$$

$$A = \frac{\beta_0^2}{\cos^2 \phi} + \frac{\beta_1^2 + \beta_0 \beta_1 - 2 \beta_0^2}{3 \cos^2 \theta}$$

$$B = \frac{3}{2} \cdot \frac{(2 - \cos^2 \phi) \beta_0 + \cos^2 \phi \beta_1}{(3 \cos^2 \theta - 2 \cos^2 \phi) \beta_0^2 + \cos^2 \phi (\beta_1^2 + \beta_0 \beta_1)}$$

θ : r_0 からの頂角 β_0 : r_0/h β_1 : r_1/h

P: 引抜き耐力 σt : コンクリートの割裂引張り強度

h : 理込み深さ d : アンカーボルト半径 ϕ : 頂角

θ : r_0 からの頂角 β_0 : r_0/h β_1 : r_1/h

r_0 : 破壊線が折れる部分 r_1 : 応力がほぼ 0 になる部分

なお、先づけアンカーボルトの場合の P は実験式として、下式で表されている。

$$P = 0.866 \sigma t \pi (h^2 + 2dh) \quad \text{式-2}$$

2) 破壊形状の実測

引抜き試験後、破壊錐体を取り除いた各種コンクリート母材について、中心を通り互いに直交する二方向の断面の深さを測定した。その際、ノギスを用いて中心から 5 cm の距離までは 1 cm 間隔、5 cm 以上 9 cm の範囲では 2 cm 間隔、それ以上は 3 cm 間隔で深さを測定した。その代表的な実測結果を図-7 に示す。以下の範囲では 2 cm 間隔、それ以上は 3 cm 間隔で深さを測定した。その代表的な実測結果を図-7 に示す。破壊線は、加力点近傍で頂角 ϕ の角度で立ち上がり、すぐ鈍化して頂角 θ のほぼ直線状態の部分に移行するとみなせる。実測では頂角 ϕ は $40^\circ \sim 50^\circ$ の範囲、また、頂角 θ は $10^\circ \sim 20^\circ$ の範囲となったが、全ての実測結果を算術平均し $\phi = 45^\circ$, $\theta = 13^\circ$ とした。なお、コンクリート母材の条件による差異は明確には見られなかった。求めた破壊線を図-8 に示す。これを本実験での破壊線とし、以下の解析に用いることとする。なお、これらの値は、松藤氏らの先づけアンカーボルトの推定式での $\phi = 60^\circ$, $\theta = 20^\circ$ よりも小さくなっている。これは、先づけアンカーボルトは、定着部がアンカーボルトの軸に対し直角であるのに対し、本研究で用いたメカニカルアンカーボルトの定着部は軸に対し約 11° であるためと考えられる。

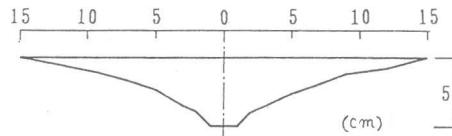


図-7 実測した破壊線の例(Mix. No0060)

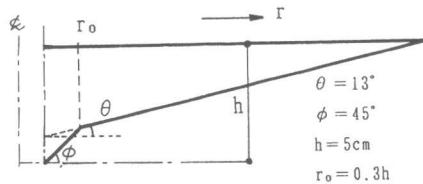


図-8 実測により仮定した破壊線

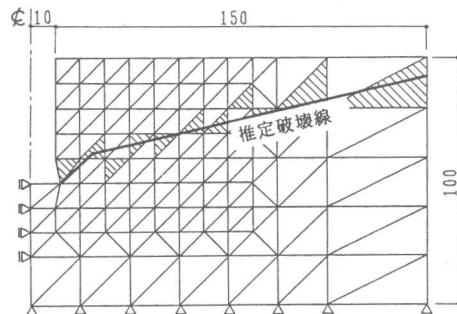


図-9 解析結果

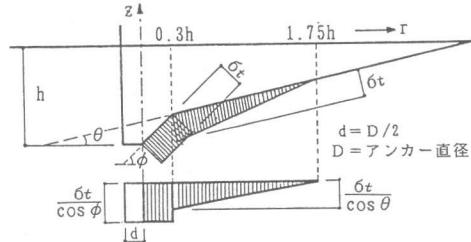


図-10 仮定した応力分布

3) 応力分布の把握

定着部の形状を考慮し、コンクリート母材に頂角 11° 、定着長さ 1cm で等分布荷重が作用した場合の応力分布を有限要素法で求めた(図-9)。

中心から同一距離の部分で、引張応力が最大になる部分を斜線で示した。破壊線はこの部分に生じるといえ、仮定した破壊線は妥当だといえる。

4) 推定式の提示

前述の応力分布の解析で主引張応力が $\beta_1 = r_1/h = 1.7 \sim 1.8$ 付近で0に漸近することから、破壊線に沿って分布する垂直応力分布を台形分布で近似した(図-10)。ここで $\beta_0 = 0.3$, $\beta_1 = 1.75$ および実測から求め仮定した破壊線より求まる $\phi = 45^\circ$, $\theta = 13^\circ$ を式-1に代入すると $A = 1.376 \pm 1.4$, $B = 1.015 \pm 1.0$ が求まる。従って、引抜き耐力推定式は以下のとおりである。

$$P = \sigma t \pi (1.4h^2 + 2dh) \quad \text{式-3}$$

図-11に推定値 P_{cal} と実験値 P_u の関係を示す。実験値がやや大きくなる傾向にあるが、両者はほぼ対応しているといえる。なお、式-3より推定される引抜き耐力は、先付けアンカーボルトの引抜き耐力の推定式の値(式-2)に比べて大きくなる。すなわち、メカニカルアンカーボルトのようにコンクリート定着部が円錐状に広がっているものは、アンカー半径 d が等しい他の先付けアンカーボルトよりも、引抜き耐力は大きくなると思われる。

5. まとめ

本研究で得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 引抜き耐力は、コンクリート母材のW/Cに影響を受け、その値が小さいほど耐力は大きくなる。
- 2) 引抜き耐力は、コンクリート母材の骨材量に影響を受ける。それは、W/Cが小さい場合には骨材量が多いほど、W/Cが大きい場合には骨材量が少ないほど耐力は増加する傾向があった。
- 3) メカニカルアンカーボルトの定着部の形状を考慮に入れた破壊線の推定および応力分布解析より、メカニカルアンカーボルトの引抜き耐力の推定式を提示するとともに、その適用性を埋込み深さが一定の範囲で確認した。また、同一アンカー半径の先付けアンカーボルトよりも引抜き耐力はやや大きくなることが考察された。

なお、今後の研究課題として、引抜き耐力に及ぼす埋込み深さ、骨材(量、形状等)の影響、アンカーボルトの定着部の形状などがあげられる。

本研究を行うにあたり、試料を提供して頂いた日本ドライブイット(株)ならびに御意見を賜りました本学・佐藤良一助教授に感謝します。また、この論文をまとめるにあたっては、その一部を狩野春一研究基金の援助を得ました。

<参考文献>

- 1) 小坂、山田、加賀「ホールイン・アンカーの引抜き試験によるコンクリート強度の推定精度」セメント技術年報 39, 昭和60
- 2) 十代田知三「コンクリートの引張異方性におよぼす調合および粗骨材の影響」日本建築学会論文報告集第235号、昭和50年9月
- 3) 小松勇二郎、森田司郎「引抜き試験結果に与える粗骨材量と乾燥の影響」日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和58年9月
- 4) たとえば、松崎、川瀬他「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講演会論文集 1984
- 5) 松藤泰典、河村博之、佐治泰次「コンクリートに定着された鉄筋の引抜き強度に関する研究(コンクリートが破壊する場合)」九大工学集報第44巻第6号、昭和46年12月

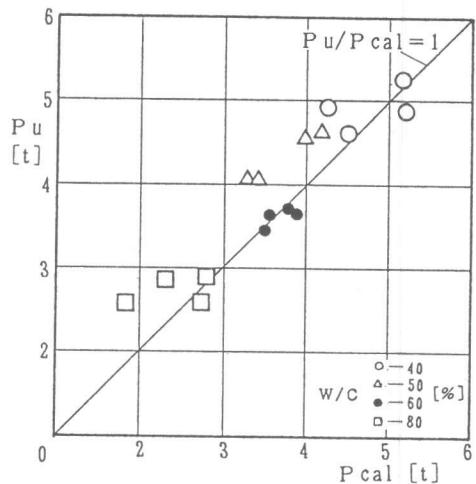


図-11 推定値 P_{cal} と実験値 P_u