

論文

[1056] 埋込み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 ○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)

小西敏正 (宇都宮大学工学部)

飯島昌史 (ミサワホーム)

1. はじめに

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, アンカーボルトを用いる場合が多い。また近年, モルタル上塗り層ならびにタイル等の剥落の防止手段として, 浮き部分とコンクリート下地部をボルトによって固着補修する方法がある。これらの埋込みボルトはいずれもコンクリートの比較的浅い部分に埋込まれるため, その引抜き耐力を支配する要因としてコンクリート表層部分の性質が重要となる。特に脱型直後のコンクリートは養生条件によっては急激な乾燥の作用を受け表層部が脆弱化する場合も考えられるため, 各種養生条件下での埋込みボルトの引抜き耐力を明確にする必要がある。本研究は, 比較的浅い部分 (5~30 mm) に埋込まれたボルトの引抜き耐力に及ぼすコンクリート母材の性質について検討したものであり, 脱型後のコンクリートの養生条件と引抜き耐力との関係を実験的に明らかにすることを目的として行った。

2. 実験方法

コンクリートの型枠脱型後の養生条件は, 膜養生剤の塗布の有無, 送風による初期乾燥の有無等とし, コンクリート表面からの水分散逸量を変化させた。使用した膜養生剤は表-1 に示す2種類であり, いずれもエマルジョンタイプとした。それらは異なるポリマーを有するものとし造膜後の透湿度に段階がつくようにした。透湿度の測定は JIS Z 0208に従った。

実験に使用したコンクリートは高強度コンクリートを含む三種とした。高強度コンクリートにはアニオン系高性能減水剤(M2000WH)を用いた。表-2 に使用したコンクリートの調合及び性質を示した。粗骨材は石灰岩質砕石と川砂利をほぼ均等混合したものである。

表-1 膜養生剤の性質

種類	ポリマー種類	エマルジョン物性		透湿度(g/24h・cm <sup>2</sup> )	
		全固形分 (%)	粘度 (cp)	フィルム単体	スレート+フィルム
A	PVDC	43.3	7	20	50
B	St-Ac	45.1	5650	1400	560

表-2 コンクリートの調合および性質

W / C (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/g/m <sup>3</sup> )						スランプ	空気量	圧縮強度 f <sub>c</sub> (28d) kg/cm <sup>2</sup>	破壊エネルギー G <sub>f</sub> (91d) kgf/cm
			水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	高性能減水剤				
30	25	38.0	170	567	570	1002	2.27	9.07	18.0	3.0	684	0.235
50	25	44.9	179	358	783	968	0.89	0	18.0	4.9	274	0.287
64	25	45.5	165	257	851	1027	0.59	0	18.0	5.5	217	0.125

なお、表中の破壊エネルギー  $G_f$  は  $10 \times 10 \times 40$  cmの直方試験体を用い、RILEM の提案する[1] 切欠き入り直方試験体の3点曲げ試験によって求めたものである。

コンクリート試験体の概要を図-1に示す。側面2面をボルト埋込み面とし、その他の面はエポキシ樹脂ならびにサララップでシールし水分の散逸を防いだ。試験体は図-2に示すようにあらかじめボルトを設置した型枠に、コンクリートを打設することにより作製した。埋込み深さは、型枠とボルトとの間に所定の長さにしたステンレスパイプを挟み調節した。埋込み深さは5, 10, 20, 30mmの4条件とした。

コンクリート試験体は打設後2日で脱型しその後の養生条件は、表-3に示すように、膜養生剤2種を塗布し気中養生で初期乾燥の有無、無塗布のまま気中養生で初期乾燥の有無、無塗布で水中養生の計7種とした。気中養生は  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $\text{RH}60 \pm 5\%$  の恒温恒湿室内で行うこととした。また、送風による初期乾燥の条件としては、脱型後気中養生を行う前に  $10 \pm 2\text{m/s}$  の風をチューブブローファンで試験面に均等に当てることとした。送風時間については同一養生条件の  $10 \phi \times 20\text{cm}$  の円柱供試体について（上下水平面をシール側面養生面）予備的に送風実験を行い重量減少の経時変化を測定した結果、初期の30分の間に重量が大きく減少し、その後はほぼ一定になることにより30分間とした。その散逸量は  $W/C=65\%$ , 無塗布の場合で  $0.05\text{g}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{min}$  であった。

ボルトの引抜き試験は、手動式の簡易引抜き試験機（図-3）により行った。試験装置の反力支持脚のスパンは、ボルト引抜き試験でのコーン状破壊が影響しない位置を考慮し180mmとした。引抜き試験は材令3, 7, 28, 91日に行うこととした。引抜き試験での最大耐力を求め、同一条件3箇所の平均値を引抜き耐力とした。

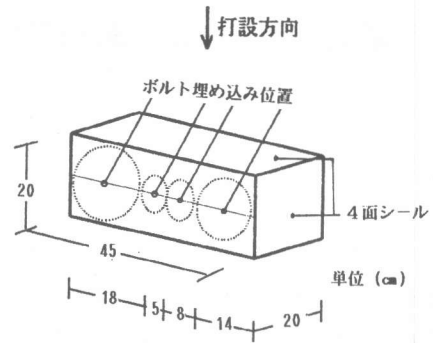


図-1 コンクリート試験体

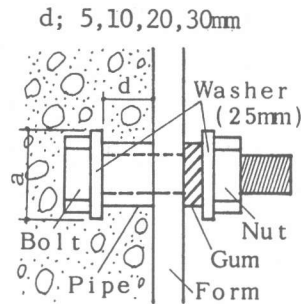


図-2 ボルト埋込み詳細

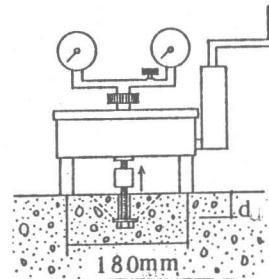


図-3 簡易引抜き試験機

表-3 養生条件

1	膜養生剤(A)塗布, 気中養生 ( $20^\circ\text{C}$ , 60%)
2	膜養生剤(B)塗布, 気中養生
3	無塗布, 気中養生
4	膜養生剤(A)塗布 + 送風30分, 気中養生
5	膜養生剤(B)塗布 + 送風30分, 気中養生
6	無塗布 + 送風30分, 気中養生
7	水中養生

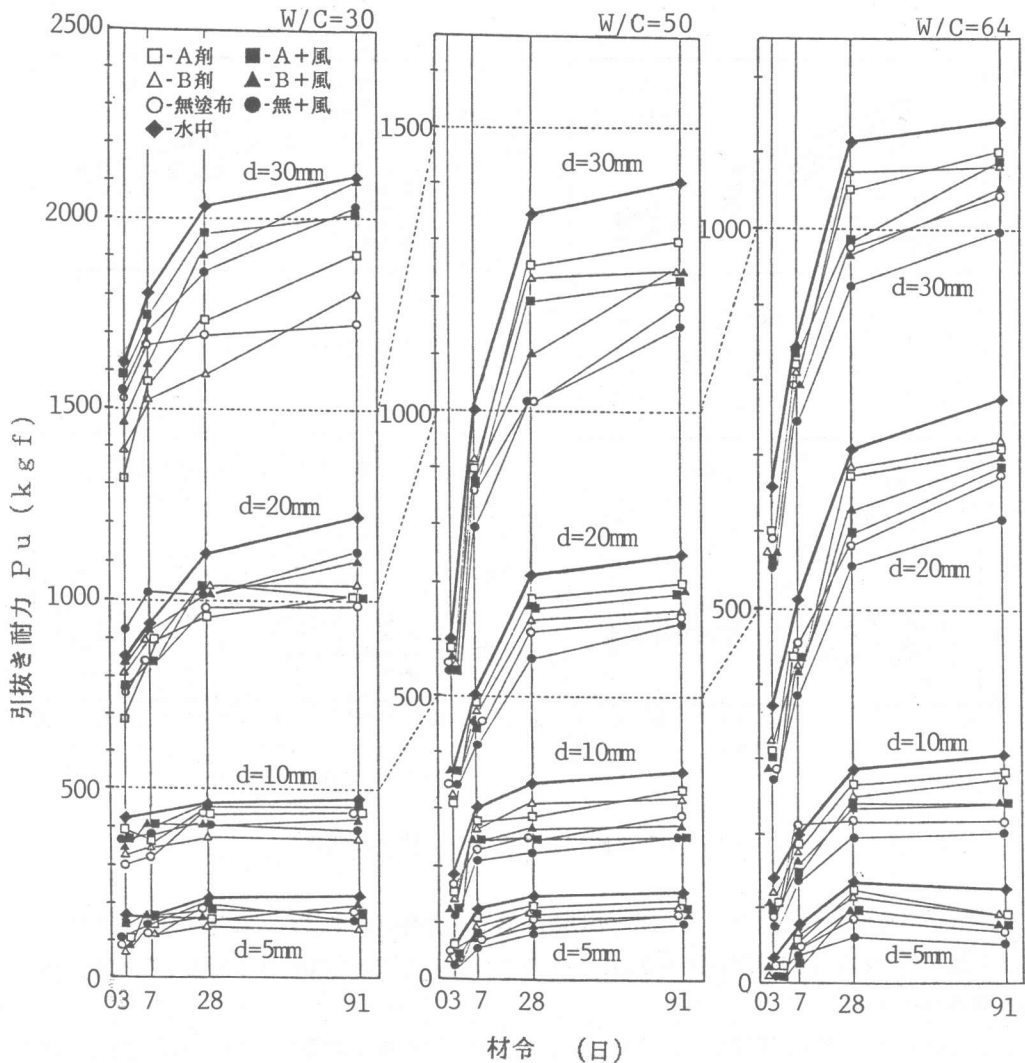
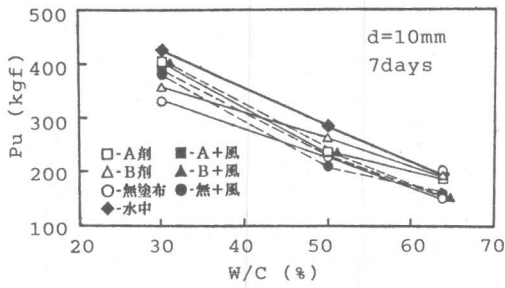


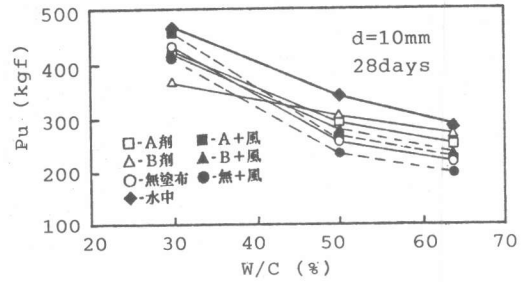
図-4 引抜き耐力 ( $P_u$ ) と材令との関係

### 3. 実験結果と考察

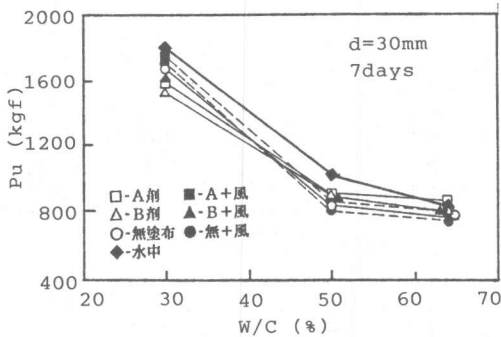
各水セメント比での材令と引抜き耐力との関係を図-4に示す。埋込み深さが深くなるほど、また、水セメント比が低くなるほど引抜き耐力は大きくなる。いずれの条件においても引抜き耐力は材令とともに増加し、その増加率は初期において大きく、徐々に緩やかになる傾向にある。特に水セメント比が30%の場合には、初期材令に耐力が大きく増加し、その後の増加はゆるやかである。この理由は、低水セメント比では、初期において水和反応が活発に起こり、弱材令時に十分な強度発現があるためと思われる。また、水中養生を除き、埋込み深さが浅くなるほど材令に伴う強度の増加が少ない傾向にある。特に水セメント比が大きく、送風を受けた場合に顕著である。これは、表面に近いほど散逸水量が多いこと、水セメント比が大きく送風的作用を受けるほど散逸水量が大きくなることなどより、水和反応に必要な水分の供給が阻害されることが主たる理由と考えられる。



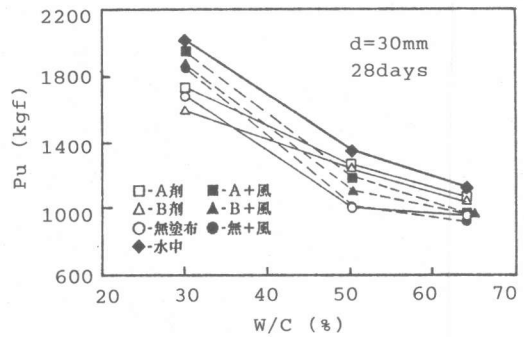
(a)  $d=10\text{mm}$ , 7days



(c)  $d=10\text{mm}$ , 28days



(b)  $d=30\text{mm}$ , 7days



(d)  $d=30\text{mm}$ , 28days

図-5 引抜き耐力と水セメント比との関係

図-5に引抜き耐力と水セメント比との関係を各養生条件別に示した。各養生条件とも水セメント比が低いほど引抜き耐力は大きい。そして水セメント比の増加に伴う耐力低下は埋込み深さが浅いほど大きくなる。

水セメント比が50%ならびに64%での引抜き耐力は、水中養生が最も大きく、次に膜養生剤を塗布したもの、最も弱いものが無塗布となる。各条件とも送風により初期乾燥を受けたものほど耐力は低く、その傾向は材令7日より28日の方が顕著であり、材令の経過とともに養生条件の差の影響が明確になる。これは初期に乾燥を受けるほど、材令にともなう水和反応の増進が阻害されるためと考えられる。

水セメント比が30%の場合での引抜き耐力は、水中養生が最も大きい、膜養生剤の塗布による耐力向上はそれほど明確ではない。また初期乾燥を受けた場合での耐力の低下は、水セメント比50%ならびに64%ほど顕著でなく、むしろ初期乾燥を受けないものよりも向上している場合もある。この理由としては、低水セメント比においては、脱型前の養生期間2日において既に水和が急速に進み、脱型後の乾燥による水和反応の阻害がそれほど大きくないこと、送風による水分散逸は含水率の減少による多孔体の強度増加に寄与していることなどが考えられる。

通常の水セメント比の条件では、早期脱型後のコンクリート表面に膜養生剤を塗布することにより引抜き耐力を向上させることが可能といえる。ただし引抜き耐力に及ぼす膜養生剤の透湿度の影響はそれほど明確ではない。

図-6に、各種養生条件による円柱供試体の材令28日での圧縮強度を示す。

各水セメント比の条件において、水中養生が最も強度が大きく、次に膜養生剤塗布、最も弱いものが無塗布となる。また、送風による初期乾燥を受けたものは強度が低下する傾向にある。低下の程度は、水セメント比30%よりも50%ならびに64%の方が若干大きい。以上の傾向は引抜き耐力の測定結果とほぼ同様である。

図-7に材令28日での円柱供試体の散逸水分量（側面のみ乾燥させたため単位側面積当りの重量減少量とした）と引抜き耐力との関係を示す。散逸水分量は水セメント比が大きくなるほど多い。W/C=50%ならびに64%では、各埋込み深さにおいて散逸水分量が多いほど引抜き耐力は減少している。これは、水分の散逸量が増加

するほど、水和に必要な水分の供給が阻害されるためと考えられる。しかしながらW/C=30%においては、水分散逸量と引抜き耐力との関係は明確ではない。これは、先ほど述べた様に、低水セメント比では早期に十分な強度発現があること、組織が緻密なために散逸水量が少ないことなどが理由として考えられる。

#### 4. 引抜き耐力と圧縮強度との関係

図-8に材令28日での各試験体の引抜き耐力と同一養生条件での円柱供試体の圧縮強度との関係を示す。図中には既往の河村[2]による推定式も示した。本式はボルト引抜き時の弾性応力分布およびそれより仮定される主引張応力分布から耐力を推定するものであり、引抜き耐力

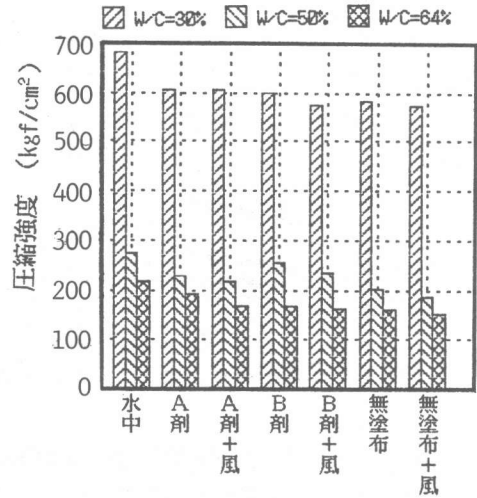


図-6 養生条件と圧縮強度（材令28日）

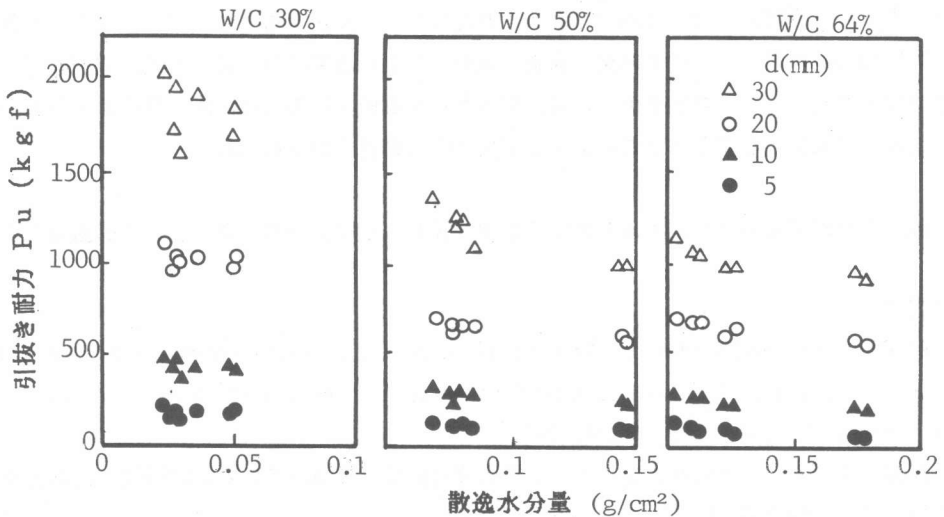


図-7 散逸水分量と引抜き耐力との関係（材令28日）

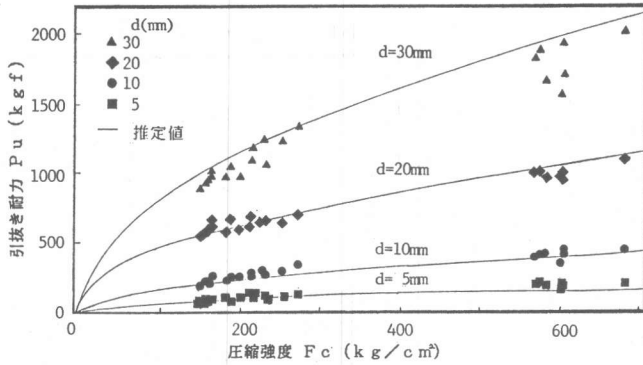


図-8 圧縮強度と引抜き耐力との関係

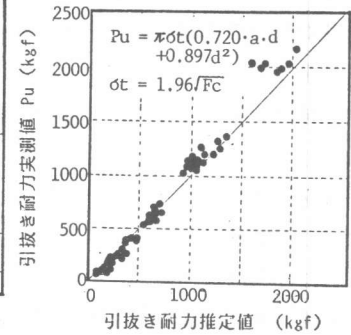


図-9 推定値と実験値との対応

( $P_u$ ) とコンクリート引張強度( $\sigma_t$ )との関係は次式で表せる。

$$P_u = \pi \sigma_t (0.720 \cdot a \cdot d + 0.897 \cdot d^2) \quad \text{--- (1)}$$

$a$  = 定着金具外径、 $d$  = 埋込み深さ

$\sigma_t$  は圧縮強度 ( $F_c$ ) と引張り強度  $\sigma_t$  との関係式 (2) [3] より求めた。

$$\sigma_t = 1.96 \sqrt{F_c} \quad \text{--- (2)}$$

図-9 に実験値と推定値との対応を示した。図-8, 9より、埋込み深さ30mmにおいて実験値がやや小さくなるが、実験結果は推定式とほぼ一致しているといえる。なお、埋込みボルトの引抜き耐力はコンクリートの表層強度に依存するのに対し、円柱供試体の強度は試験体の平均的な強度であることより、両者は厳密には異なるものと考えられるが、円柱供試体の強度は相対的に表層強度と比例関係にあるものと思われる。すなわち、今回の養生条件の範囲においては、コンクリート埋込みボルトの引抜き耐力は同一養生条件の円柱供試体の圧縮強度により相対的な推定が可能になると考えられる。

#### 4. まとめ

コンクリート表層部 (5~30mm) に埋込まれたボルトの引抜き耐力に及ぼすコンクリート母材の性質について検討した。その結果、通常の水セメント比の供試体においては、初期乾燥により水分の散逸量が大きくなるものほど耐力が小さくなる傾向にあった。水分保持の手段として脱型直後に膜養生剤を塗布することにより引抜き耐力の向上が見られた。

謝辞 実験に御協力いただきました山宗化学(株)ならびに三幸商事(株)に感謝致します。

#### 参考文献

- [1] RILEM Draft Recommendation, Determination of the fracture energy of mortar and concrete by means of three-point bend tests on notched beams, Materials and Structures, No.106, 1985, pp.285-290.
- [2] 河村: プレキャスト鉄筋コンクリート構造接合部耐力についての基礎的研究, 日本建築学会構造系論文報告集, No.353, 1985.7, pp.1~11
- [3] Carrasquillo, R. L., Nilson, A. H. and Slate, F. O., Properties of High Strength Concrete Subjected to Short-Term Loads, ACI JOURNAL, Proceedings Vol.78, No3, 1981