

論文

[1079] 場所打ち RC 杭の強度に関する実験的研究

渡辺忠朋*1・村田 修*2・谷口善則*3

1. はじめに

場所打ちRC杭の力学的特性は、気中で施工される一般的なコンクリートに比べて力学的特性等が劣るとして一般的なコンクリートに対する値を低減して許容応力度として用いている [1]。

これは、場所打ちRC杭のコンクリートは気中で施工される一般的なコンクリートと比べてコンクリートの打込み条件、不純物混入の可能性および締固め・養生条件等が異なることに対する配慮であるが、それらの影響については十分に定量的にされていないのが現状である。

そこで、場所打ちRC杭の合理的設計法を検討するために上記に示した施工状況が与える影響を、コンクリートの圧縮強度および静的弾性係数等の特性とせん断耐力に着目して実験的に検討することにした。

以下に、実験概要とその考察を述べる。

2. 圧縮強度、静的弾性係数および単位容積質量

2. 1 目的

場所打ちRC杭のコンクリートの特性を調査するために、気中、水中、濃度の異なるベントナイト溶液中にトレミー管を用いてコンクリートを打ち込み、これより採取した試料と標準供試体の特性（圧縮強度、静的弾性係数および単位容積質量）を比較することによって、施工条件がコンクリートの特性に与える影響を把握することを目的とする。

2. 2 実験概要

(1) 供試体

供試体は、木製立方体型枠内にトレミー管を用いてコンクリートを打設して製作した（図1）。供試体は、この各試験体から抜き取り作成した。供試体の抜き取り箇所を図2に示す。供試体の形状は、径 100mm、高さ 200mmとした。

(2) 実験方法

試験方法を以下に示す。

- ① 圧縮強度—JIS A 1107, JIS A 1108によった。
- ② ヤング係数測定試験—ASTM C 469-65およびコンクリートの静的弾性係数試験方法（案）に準じた。
- ③ 単位容積質量—供試体の質量および寸法測定結果より算出した。

試験は、アムスラー試験機を用いて行った。

*1 (財)鉄道総合技術研究所 橋梁担当研究室 研究員 (正会員)

*2 (財)鉄道総合技術研究所 土質・基礎担当研究室 主任研究員

*3 (財)鉄道総合技術研究所 土質・基礎担当研究室 研究員

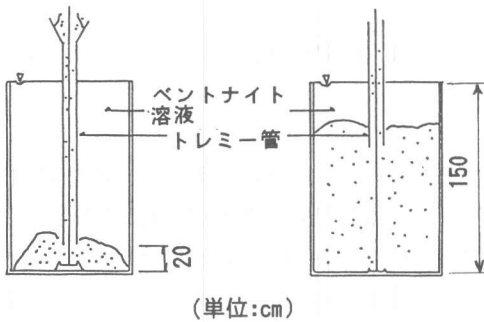
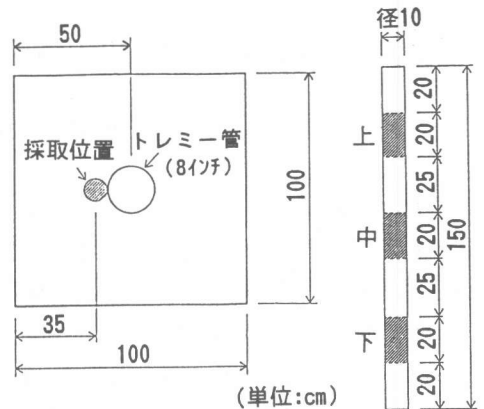


図1 トレミー管の打設図



採取位置(平面) 供試体切断位置
図2 供試体の抜き取り箇所図

(3) 使用材料

コンクリートの配合およびベントナイトの物理的性質を表1および2に示す。

表1 コンクリートの配合

水セメント比 (%)	粗骨材率 (%)	単 位 量 (kgf/m ³)				
		セメント	水	細骨材	細骨材	混和剤
47.5	43.4	377	179	1012	740	4.02

2. 3 実験結果および考察

JIS A 1132に従って製作した供試体(以下、標準供試体)と採取された供試体(以下、採取供試体)の圧縮強度、静的弾性係数および単位容積質量の実験結果を表3に示す。

表2 ベントナイトの物理的性質

産 地	水 分 (%)	粒 径 残 査 (%)	嵩 比 重 (g/cc)	pH 1%sol
群馬県	8.5	6.5	0.71	9.8

なお、これらの数値は、材令28日の値である。

(1) 圧縮強度

採取供試体の圧縮強度を標準供試体の圧縮強度で除して圧縮強度比として検討する。採取供試体の採取深さと圧縮強度比の関係を図3に示す。採取位置が深いほど、圧縮強度比が大きくなる傾向にある。採取位置が浅い場合は、圧縮強度比は小さくなる傾向にあり、標準供試体に比べて最大18%程度低下する結果となっている。採取供試体の施工条件と圧縮強度比の関係を図4に示す。採取位置の浅い供試体に着目すると、気中および水中での施工の場合は、標準供試体に比べて5%程度低下している。また、ベントナイト泥水の濃度が高くなるほど標準供試体に比べて低下する傾向にあり、ベントナイト濃度15%の場合で約20%程度低下する結果となった。

(2) 静的弾性係数

採取供試体の静的弾性係数を標準供試体の静的弾性係数で除して静的弾性係数比として検討する。採取供試体の深さと静的弾性係数比の関係を図5に示す。採取供試体の深さによる顕著な違いは認められないと考えられる。

採取供試体の施工条件と静的弾性係数比の関係を図6に示す。

表3 コンクリートの強度特性等：気中打設－材令28日

	施工条件 (ベントナイト濃度)	採取位置	単位容積質量 (t/m ³)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	静弾性係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)	備考
標準供試体	JIS A 1132		2.35	303	2.76	
採取供試体	気中	上	2.20	300	2.52	深さ：20～40 cm
		中	2.31	289	2.82	深さ：65～85 cm
		下	2.32	325	2.67	深さ：110～130cm
	水中 (0%)	上	2.21	290	2.36	深さ：20～40 cm
		中	2.27	287	2.63	深さ：65～85 cm
		下	2.32	379	2.51	深さ：110～130cm
	ベントナイト 泥水中(5%)	上	2.15	278	2.09	深さ：20～40 cm
		中	2.16	272	2.13	深さ：65～85 cm
		下	2.29	328	2.09	深さ：110～130cm
	ベントナイト 泥水中(10%)	上	2.12	251	1.98	深さ：20～40 cm
		中	2.08	265	1.91	深さ：65～85 cm
		下	2.23	276	2.27	深さ：110～130cm
ベントナイト 泥水中(15%)	上	2.15	257	2.23	深さ：20～40 cm	
	中	2.26	240	2.29	深さ：65～85 cm	
	下	2.26	286	2.18	深さ：110～130cm	

採取位置の浅い供試体に着目すると、気中施工の場合においても静的弾性係数比が 0.91 となり、標準供試体の静的弾性係数に対して10%程度低下する結果となった。

また、ベントナイト濃度が高くなるとさらに静的弾性係数比が小さくなり、標準供試体の静的弾性係数に対して30%程度低下している。

気中でコンクリートを打ち込んだ場合においても、静的弾性係数が標準供試体に比べて低下していることを考えると、締固めを伴わないことによる影響とベントナイト等の不純物による影響が複合された結果と考えられる。

(3) 単位容積質量

採取供試体の単位容積質量を標準供試体の単位容積質量で除して、単位容積質量比として検討する。採取供試体の採取深さと単位容積質量比の関係を図7に示す。いずれの施工条件においても採取位置が深くなるほど単位容積質量比が大きくなる傾向にあるが、単位容積質量比は1.0より小さく、標準供試体のそれと比べて小さくなっていることがわかる。採取供試体の施工条件と単位容積質量比の関係を図8に示す。

気中および水中での施工の場合は、単位容積質量比は平均で 0.97 および 0.96 となり、標準供試体よりも3～4%程度低下している。

ベントナイト泥水中で施工した場合は、単位容積質量

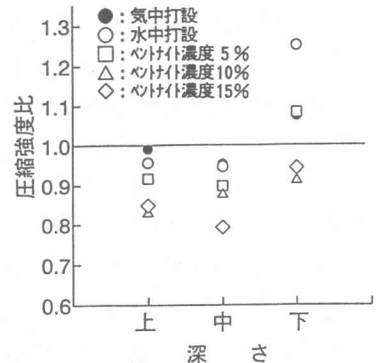


図3 採取深さと圧縮強度比の関係

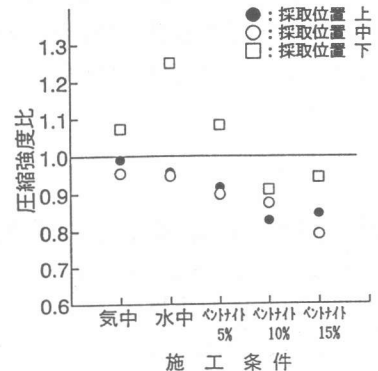


図4 施工条件と圧縮強度比の関係

比は気中および水中で施工した場合の単位容積質量よりもさらに低下する傾向にある。

単位容積質量が低下した場合、一般にはコンクリートが粗になっていると考えられる。この影響により圧縮強度および静的弾性係数が低下するものと考えられ、また、ベントナイト泥水中においては、さらにその傾向が大きくなるものと考えられる。

3. せん断強度

3. 1 目的

場所打ちRC杭の施工条件がせん断耐力に及ぼす影響に関する基礎資料を得るために、場所打ちRC杭をモデル化した供試体を製作し、載荷実験を行った。

以下に、実験概要および考察を示す。

3. 2 実験概要

(1) 供試体

供試体形状および諸元を図9に示す。供試体は、実物の場所打ちRC杭の引張鉄筋比を基本として定めた。

なお、引張鉄筋にはSD395を用いた。

また、せん断補強鉄筋以外が受け持つせん断耐力に着目したので、せん断補強鉄筋は配置していない。供試体は場所打ちRC杭の施工を模擬して供試体を鉛直方向に建ててトレミー管を用いてコンクリートを打ち込んだ。施工条件は、気中および水中および泥水中（ベントナイト濃度5%、10%、15%）の5種類とした。コンクリートの使用材料は、2と同様である。

(2) 実験方法

載荷は2対称載荷として静的単調載荷とした。測定は、ひびわれ発生荷重および最大荷重、ひびわれ性状、変位およびひずみ（鉄筋およびコンクリート）について行った。

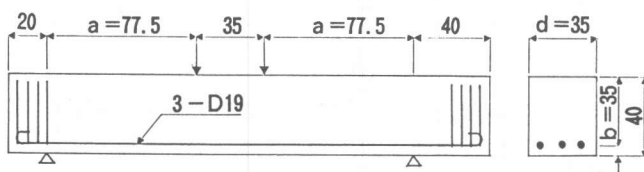


図9 供試体諸元

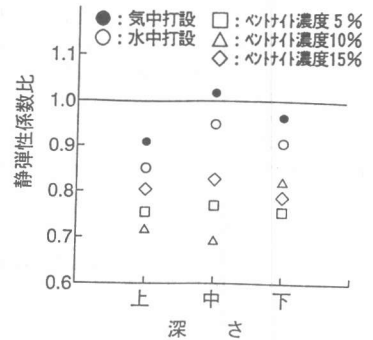


図5 採取深さと静的弾性係数比の関係

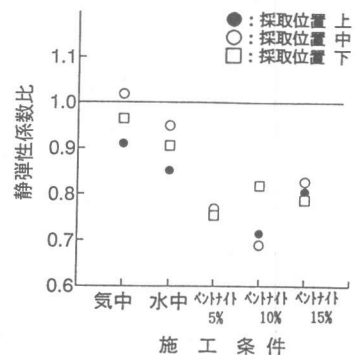


図6 施工条件と静的弾性係数比の関係

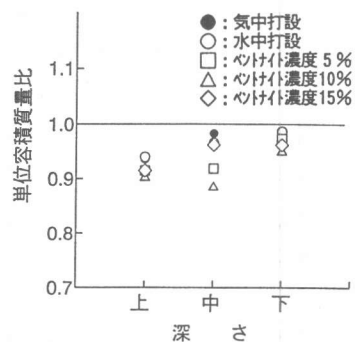


図7 採取深さと単位容積質量比の関係

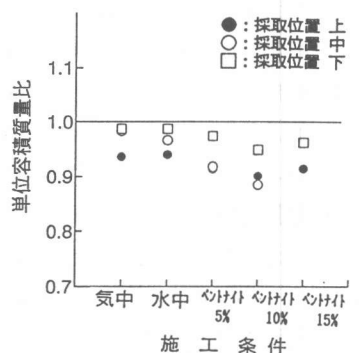


図8 施工条件と単位容積質量比の関係

3. 3 実験結果および考察

(1) ひびわれ性状

各供試体ともスパン中央付近に曲げひびわれが発生し、その後斜めひびわれが発生し、荷重の増加とともにそのひびわれが伸展してせん断破壊した。なお、せん断破壊は各供試体ともコンクリート打ち込み時に上側となる載荷スパンの領域で生じた。

(2) ひびわれ発生荷重

曲げひびわれ発生荷重およびせん断ひびわれ発生荷重を表4に示す。施工条件と σ_b/f'_c (σ_b : 曲げひびわれ応力度) および τ_c/f'_c (せん断ひびわれ応力度) の関係を図10および11にそれぞれ示す。曲げひびわれ応力度、せん断ひびわれ応力度とも気中、水中、泥水中の順に小さくなっていく傾向になっていることが分かる。曲げひびわれ応力度と部材の寸法効果を考慮した曲げ強度(f_b) [2] [3] の関係を図12に示す。これより、同一の圧縮強度でも、気中、水中、泥水施工の順に、コンクリートの曲げ強度が低下するものと考えられる。

(3) せん断耐力

せん断耐力の実験値 (V_{test}) を表4に示す。

既往のせん断耐力算定式(1)式 [4] を用いて実験結果の評価を試みた。

$$V_{cal} = 3.58(a/d)^{-1.166} (100p_t)^{1/3} (100/d)^{1/4} f'_c{}^{1/3} b d \quad (1)$$

ここに、 p_t : 引張鉄筋比

f'_c : コンクリートの圧縮強度

a, b, d: 図9参照

施工条件と実験値 (V_{test}) と計算値 (V_{cal}) の比を図13に示す。なお、コンクリートの圧縮強度は、実験時の材令の標準供試体の値と、同一の施工条件における採取供試体の値の両方の値をそれぞれ用いて計算した。

気中および水中で施工された供試体 (S-1, S-2) は、せん断耐力は(1)式で比較的精度よく推定される結果となった。ベントナイト泥水中で施工された供試体(S-3, S-4, S-5)は、計算値が実験値を30%程度過大に評価する結果となった。

なお、ベントナイト濃度による顕著な差異は認められない結果となった。通常の施工を行った場合に比べてせん断耐力が低下する要因としては種々の要因が考えられるが、一般にコンクリートの引張強度が低下するとせん

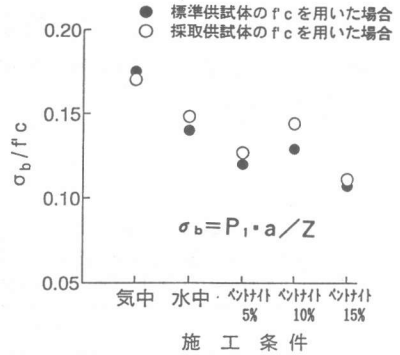


図10 施工条件と σ_b/f'_c の関係

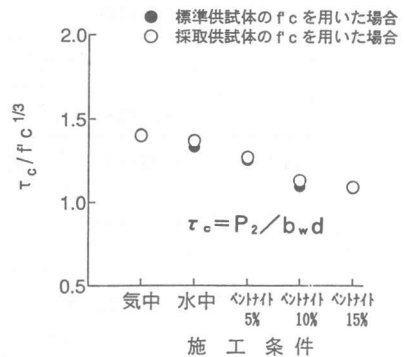


図11 施工条件と $\tau_c/f'_c^{1/3}$ の関係

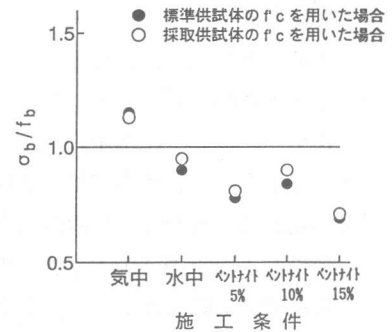


図12 施工条件と σ_b/f_b の関係

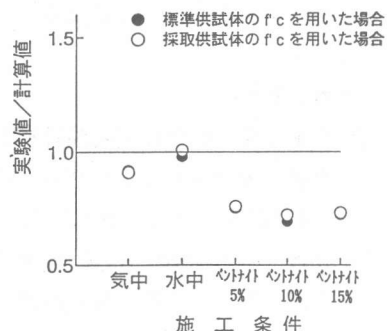


図13 施工条件と実験値/計算値の関係

断耐力が低下するとされていることを考慮すると、前述の(2)で示したように施工条件の相違によるコンクリートの曲げ強度が低下していることから、引張強度の低下が一つの要因であると考えられる。

表4 実験結果(せん断)

供試体名称	施工条件および ベントナイト濃度	f'_c (kgf/cm ²)	P_1 (tf)	P_2 (tf)	V_{test} (tf)	V_{cal} (tf)
S-1	気 中	332 (342)	7.0	13.7	16.4	17.8(18.0)
S-2	水 中	336 (308)	5.5	13.0	17.5	17.9(17.4)
S-3	ベントナイト泥水中(5%)	325 (308)	4.7	12.0	13.3	17.7(17.4)
S-4	ベントナイト泥水中(10%)	322 (289)	5.0	10.5	12.2	17.7(17.0)
S-5	ベントナイト泥水中(15%)	311 (299)	4.0	10.3	12.5	17.5(17.2)

注) f'_c において () 外は、標準養生供試体の試験時の材令の値
() 内は、採取供試体の試験時の材令の値

- V_{cal} において() 外は、標準養生供試体の試験時材令の f'_c を用いた値
() 内は、採取供試体の試験時材令の f'_c を用いた値
- P_1 : 曲げひびわれ発生荷重
- P_2 : せん断ひびわれ発生荷重
- V_{test} : せん断耐力の実験値(最大荷重)
- V_{cal} : せん断耐力の計算値

4. まとめ

本実験により明らかになったことをまとめて以下に示す。

- 施工条件の違いによりコンクリートの圧縮強度、静的弾性係数および単位容積質量は異なり概ね気中、水中、泥水中の順に各特性は低下する傾向にある。
- ベントナイト泥水中で施工された供試体の場合、気中および水中で施工された場合に比べてせん断耐力は概ね 30 %程度低下する。
- 気中および水中で施工された場合のせん断耐力は、既往のせん断耐力算定式で概ね評価することができる結果となった。しかし、ベントナイト泥水中で施工された場合のせん断耐力は、既往のせん断耐力算定式を用いた場合過大評価となる。これは、コンクリートの引張強度の低下が1つの要因であると考えられる。

[謝辞] 本実験を行うにあたりお世話になった、熊谷組技術研究所菱沼氏、藤木氏に感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 土木学会: 国鉄建造物設計標準(基礎構造物、杭土圧構造物), p.56 ~p.60, 1986.3.
- 2) 塩谷: 大型鉄筋コンクリート部材のせん断特性に関する研究; 清水建設研究報告, 別冊第25号, p.31~p.33, 1989.2.
- 3) 丸善: 鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物), p.152~p.157, 1992.10.
- 4) 石橋、松田、斉藤: 少数本のくいを用いたフーチングのせん断設計について; 土木学会論文報告集, 第377号, p.197~p.204, 1983.9.