掘削泥水中に打設される場所打ちコンクリートの品質に関する研究

鉄道総合技術研究所　正会員　○西村　昌宏，神田政幸，西岡英俊
ﾌｪﾛｰ会員　舘山　勝
ｼﾞｪｲｱｰﾙ東海ｺﾝｻﾙﾀﾝﾂ　正会員　千葉　佳敬

１．目的　鉄道構造物の設計において，場所打ち杭，深礎杭，連壁井筒基礎の壁体の設計に用いるコンクリート強度等の特性値は，施工条件として気中条件，自然泥水条件およびベントナイト泥水条件に分け，低減係数βをコンクリートの設計基準強度(圧縮強度の特性値f'_{ck})に掛け合わせ求めている[1]．従来，安定液は，崩壊防止と孔内土粒子の沈降を阻止することを主目的として，ベントナイト安定液が使用されてきた．最近ではコンクリートとの置換性が重視され，低比重・低中粘性のポリマーを併用した安定液が使用されるようになってきたが，その品質については十分な検討がなされておらず，場所打ち杭のコンクリート強度等に関する取り扱いの規定もない．著者ら[2]は，ポリマー系安定液中に打設されるコンクリートの品質を確認することを目的として，場所打ち杭の施工を模擬した供試体の強度試験および実施工現場におけるコンクリート打設前の泥水を採取し，その性状を調査した．その結果，コンクリートの品質は，ポリマー濃度(一般的な適用範囲 0.1%～0.6%)よりもベントナイト濃度に依存すること，泥水に含まれる土粒子量が杭工法により異なることを確認した．

本研究では，参考文献 2)の研究に引き続き杭工法別の泥水濃度を明らかにすることを目的として，実施工現場の泥水を採取し，その性状(泥水濃度，泥水比重)を調査した．また，場所打ちコンクリートの品質に影響を与えると考えられる孔内水の泥水濃度（泥水比重）に着目し，泥水中のコンクリート強度等の特性値を求める新たな低減係数 β を提案し，実杭のコア供試体を対象に，提案した低減係数βの妥当性を検証した．

２．泥水濃度調査　本研究では，**表１**に示す調査事例から工法別の泥水濃度および泥水比重の測定を実施した．調査対象とする泥水は，ボーリングに対してスライム処理を行ったコンクリート打設前のものとした．オールケーシング工法・アースドリル工法の場合，採取位置は孔口近傍，孔底近傍の 2 箇所とし，その他の工法は，底ざらい後のもどり液を採取しこれを孔底近傍とした．泥水濃度は，採取泥水を乾燥させ固形分質量を測定した後，75 μm ふるい(JIS Z8801)でふるい分けを行い 75 μm 未満の細粒分質量を濃度で表し，これを泥水濃度とした．泥水比重は，マッドバランスにより測定した．

表１　泥水調査事例

工法	土質条件	ｻﾝﾌﾟﾙ数
ｵｰﾙｹｰｼﾝｸﾞ	砂質土	38
	粘性土	1
ﾘﾊﾞｰｽ	砂質土	4
	粘性土	5
ｱｰｽﾄﾞﾘﾙ	砂質土	14
	粘性土	9
連壁	砂質土	4
	粘性土	0
TBH	砂質土	1
	粘性土	0
合計		76

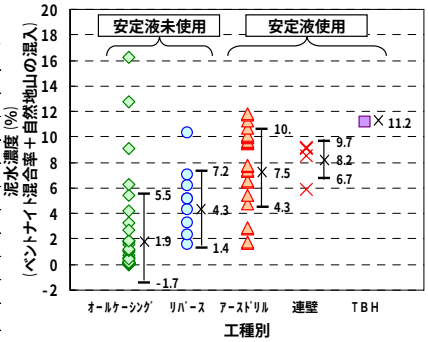

図1　杭工法別の泥水濃度の分布

杭工法別の泥水濃度の分布を**図１**に示す．安定液を使用した工法の安定液の初期配合条件は，ベントナイト濃度 2～3%，ポリマー濃度 0.13～0.2%である．同図より，初期(新液時)のベントナイト濃度よりも，コンクリート打設前の泥水濃度は自然地山から発生する土粒子が泥水に混入することで高くなることがわかる．安定液未使用の場合，泥水濃度は最大で 7%程度となり，一方，安定液を使用した場合，スライム処理後では最大で 11%程度と高くなった．次に泥水比重と泥水濃度の関係を**図２**に示す．同図よりスライム処理で砂分が除去されるため，泥水比重と泥水濃度は相関が高く比例関係にあることがわかる．したがって，泥水比重を泥水の管理基準として適切に設定することによって，コンクリート打設前の泥水中に含まれる土粒子の量を管理することが可能となり，コンクリートの品質に及ぼす影響を評価できると考えられる．

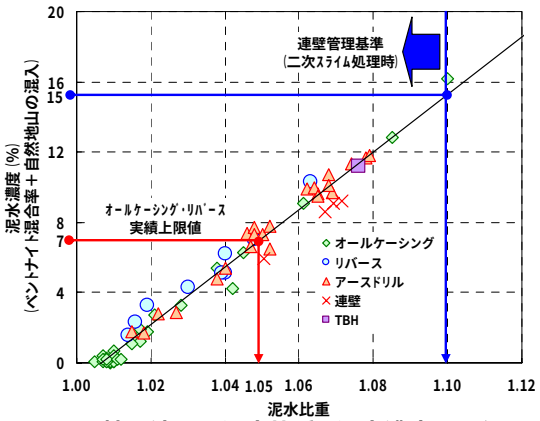

図2　杭工法別の泥水比重と泥水濃度の関係

３．コンクリートの品質に及ぼす泥水濃度の影響　以上の結果を踏まえて，コンクリートの強度等に及ぼす泥

キーワード　杭，泥水濃度，泥水比重，低減係数 β
連絡先　〒185-8540　東京都国分寺市光町 2-8-38　（財）鉄道総合技術研究所　ＴＥＬ 042-573-7261

水濃度の影響を検討した．文献 2)ではベントナイト濃度を変化させてコンクリート強度等の分析を実施しているものの，場所打ち杭の孔内水を模擬していることからベントナイト濃度を泥水濃度と読み替えることが可能である．そこで強度試験結果等に対し，文献 2)に示されたベントナイト濃度を孔内水の泥水濃度に読み替えプロットした．縦軸はコアコンクリートの圧縮強度，静弾性係数，割裂強度をそれぞれ設計基準強度f'_{ck}，f'_{ck}から算出した静弾性係数の特性値E_c，割裂強度の特性値f'_{tk}で除した．ここで，割裂強度は割裂引張強度試験から求めたが，泥水濃度の高い領域で十分なデータがなかったことから，割裂強度と設計基準強度の間で，$f'_{tk}=0.23f'^{2/3}_{ck}$(N/mm^2) [4]が成り立つと仮定し，**図３**で得られた圧縮強度比を用いて割裂強度比を算定した．これを**図３～図５**に示す．同図には本試験結果の他に，既往の試験結果[3]も併せて示す．既往の試験結果を含め，泥水濃度の増加に伴い圧縮強度比，静弾性係数比は低下する傾向にあることがわかった．また，割裂強度比についても同様に泥水濃度の増加に伴い低下する傾向にあると言える．

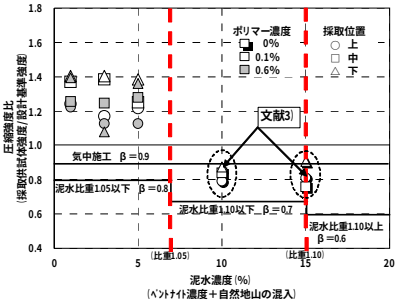

図３　圧縮強度比

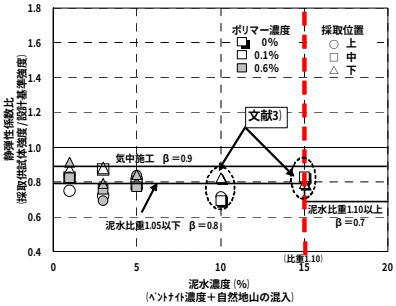

図４　静弾性係数比

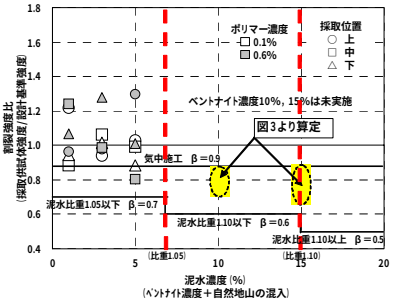

図５　割裂強度比

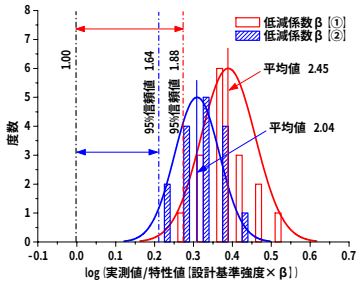

図６　安全マージンの比較

４．泥水濃度による低減係数βの提案　　以上の結果を踏まえ，コンクリート強度等の低減係数βを新たに提案し，これを**図３～図５**中に示す．圧縮強度および割裂強度の低減係数βは，実験結果の下限値相当になることを勘案し設定した．一方，静弾性係数の低減係数βは，実験結果の平均値相当のラインとなるよう設定した．**図２**より安定液未使用の場合には泥水比重 1.05(泥水濃度 7%)以下，安定液使用の場合には泥水比重 1.10(泥水濃度 15%)以下が，それぞれ設定可能な泥水管理基準値になると考えられる．これらの基準値を考慮し，施工条件を表すコンクリート打設前の泥水比重を管理項目とした低減係数β(案)を**表２**に示す．なお，割裂強度は，付着強度とほぼ同一であることから[4]これを付着強度の特性値の評価に用いることとした．

表２　施工条件による係数β (案)

施　工　条　件	設計強度		コンクリートのヤング係数
	圧縮強度	割裂強度（付着強度）	
気中施工（ﾊﾞｲﾌﾞﾚｰﾀｰ未使用）	0.9	0.9	0.9
泥水比重1.05以下※1	0.8	0.7	0.8
泥水比重1.10以下※2	0.7	0.6	0.8
泥水比重1.10以下～1.20以下（管理不十分）	0.6	0.5	0.7

※1　安定液未使用，あるいは安定液を使用する場合で，コンクリート打設前の泥水比重が1.05以下となるように管理する場合
※2　安定液未使用，あるいは安定液を使用する場合で，コンクリート打設前の泥水比重が1.10以下となるように管理する場合

５．実杭による検証　　実杭から採取したコア供試体の強度試験結果を用いて，提案した低減係数 β(案)の妥当性の検証を行った．圧縮強度の検証結果の一例(アースドリル工法，コア供試体総数 553 個)を**図６**に示す．検討では，従来の基礎標準で定められた低減係数 β①および提案した低減係数 β②の両者で予測されるコンクリート強度の特性値と実測値の比を対数正規分布で整理し，それらの実数を比較した．低減係数 β①は，平均値で 2.45，95%信頼値で 1.88 を示している．また，低減係数 β②においては平均値で 2.04，95%信頼値で 1.64 となった．これより圧縮強度の特性値については，基礎標準の低減係数 β より，本提案方法によれば実強度の特性値は十分な安全マージンを確保しつつ，より実強度に近い値が得られることがわかった．なお，静弾性係数においても同程度の安全マージンを確保可能であることを確認している．

６．まとめ　　本研究で提案した低減係数β(案)を用いることで，孔内水の泥水性状を考慮した合理的な設計が可能であり，泥水濃度を低く管理した掘削泥水中でのコンクリート打設を推奨することにも繋がる．なお，本検討は「基礎構造物・抗土圧構造物設計標準に関する委員会（委員長：日下部治東京工業大学教授，幹事長：古関潤一東京大学教授)」での検討内容の一部をまとめたものである．また，JR 東日本旅客鉄道㈱，JR 東海旅客鉄道㈱，日本基礎建設協会および地中連続壁基礎協会には泥水サンプルを提供いただいた．ここに記して謝意を表す．

参考文献　1) 国土交通省鉄道局監修, (財)鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物編）, 丸善, 2000. 2) 千葉, 神田他: ポリマー系安定液中でのコンクリート強度評価試験, 土木学会第 62 回年次学術講演会, pp.719-720, 2007.9. 3) 渡邉, 村田, 谷口: 場所打ち RC 杭の圧縮強度, 鉄道総研報告, Vol.9, No.4, 1995.4. 4) 国土交通省鉄道局監修, (財)鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物編）,丸善, 2004. 5) 宮本, 島谷: 場所打ちコンクリート杭のコンクリートコアの強度について, 基礎工, pp.43-46, 1998.9.