

報告 杭頭余盛りコンクリートを全量使用した現場再生コンクリートの配合設計と適用

廣中 哲也^{*1}・松田 敦夫^{*2}・瀬田 博文^{*3}・小澤 弘明^{*4}

要旨：筆者らは、これまでに破碎しただけの解体コンクリートを現場内で 100%骨材に利用可能な現場再生コンクリートを開発し、今回、杭頭余盛りコンクリートを原料とした現場再生コンクリートを橋脚均しコンクリートに適用した。そこで、余盛りコンクリートの深さ方向の強度分布を把握し、原料中の弱強度部混入量と現場再生コンクリートの練上りの性状および圧縮強度の関係から配合設計と品質管理方法についてまとめた。また、適用時には良好な施工性および品質が得られた。

キーワード：再生コンクリート，解体コンクリート，配合設計，品質管理

1. はじめに

国土交通省の調査による 2000 年のコンクリート解体材の排出量は 3500 万トンで、そのうちの 98%は再資源化されている¹⁾。その大半は道路用の路盤材として使用されているが、2030 年の排出量は 1 億 7000 万トンと 4 倍以上になるのに対し²⁾、道路用路盤材の需要は漸減すると予想されている³⁾。一方では、建設リサイクル法およびグリーン購入法の施行により、特定建設資材の分別解体と再資源化の義務づけ、公共工事での環境負荷低減物品等の調達推進が図られている。

これらを背景に、解体コンクリートのリサイクル性向上と環境負荷低減を目的に「解体コンクリートを現場内で骨材に 100%リサイクルする再生コンクリート（以下、現場再生コンクリートと称す）」を開発した⁴⁾。今回、入札時 VE 提案により国土交通省発注の高架橋下部工事に採用され、通常は現場外で中間処理される場所打杭の余盛りコンクリート（以下、杭頭余盛りコンクリートと称す）を原料に現場再生コンクリートを製造し、橋脚の均しコンクリートに適用した。

しかし、杭頭余盛りコンクリートの上部には、

土砂や地下水を含む弱強度部分があり、それを原料とする現場再生コンクリートの品質および施工性に影響を及ぼすと考えられた。

そこで本報告では、原料となる杭頭余盛りコンクリートの深さ方向の強度分布を把握し、原料中の弱強度部混入量と現場再生コンクリートの練上りの性状および圧縮強度の関係から配合設計と品質管理方法についてまとめた。また、適用時の施工性および品質についても述べる。

2. 工事概要

図-1 に場所打杭および均しコンクリートの概要、写真-1 に杭頭余盛りコンクリートを示す。今回の対象工事は、直径 1.2m の杭頭余盛りコンクリートを撤去後、その解体コンクリートを原料に現場再生コンクリートを製造し、設計

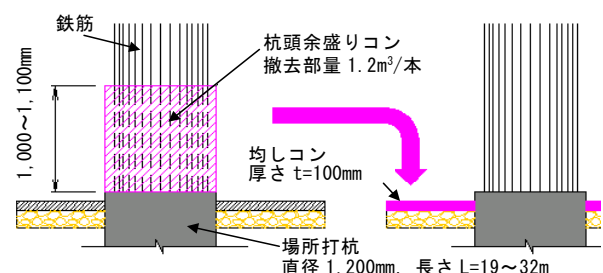


図-1 場所打杭と均しコンクリートの概要

*1 (株) 奥村組 技術研究所 材料・LCE グループ (正会員)

*2 (株) 奥村組 技術研究所 材料・LCE グループ (正会員)

*3 (株) 奥村組 東京支社土木部

*4 (株) 奥村組 関西支社土木部

基準強度 18N/mm^2 の橋梁の均しコンクリート約 3000m^3 に施工した。杭頭余盛りコンクリートは、場所打杭築造時に地盤削孔後、坑内底部からコンクリートを打ち上げることで生じた杭上部の土砂や地下水を含んだ弱強度部分である。

表－１に今回の原料コンクリートとなる場所打杭の代表的な配合を示す。材齢 28 日程度で杭頭余盛りコンクリートとして撤去され、現場再生コンクリートの原料に使用した。また、場所打杭の標準養生試験体の材齢 28 日圧縮強度は 40.7N/mm^2 であった。

3. 杭頭余盛りコンクリートの特性

3.1 試験概要

図－２に杭頭余盛りコンクリート試料採取概略図を示す。杭頭余盛りコンクリートの深さ方向の強度分布を確認するために、杭 A と杭 B の 2 本の杭頭から各 3 本の直径 10cm、全長 150cm のコンクリートコアを採取した。各コアから健全部側で高さ 20cm の試験体を 3 本、弱強度部側は長さが約 25cm と短いため、高さ 10cm の試験体を 2 本採取した。そのコア試験体により見掛け密度試験と一軸圧縮試験を JIS A 1107 および JIS A 1108 に準拠して行い、弱強度部の圧縮強度

は高さとの比による補正係数を用いて換算した。弱強度部分は黄土色をしており、健全部との色の違いは明確であるため、弱強度部と健全部の境界面は目視により判断した（写真－１参照）。さらに、一定高さに成形した残りのコア試験体を用いてシュミットハンマーにより反発硬度を測定し、強度分布の補足データとした。また、圧縮試験終了後のコアを試験室用 1t/h ジョークラッシャーにより破碎し、杭頭余盛りコンクリート破碎物の粒度分布を測定した。

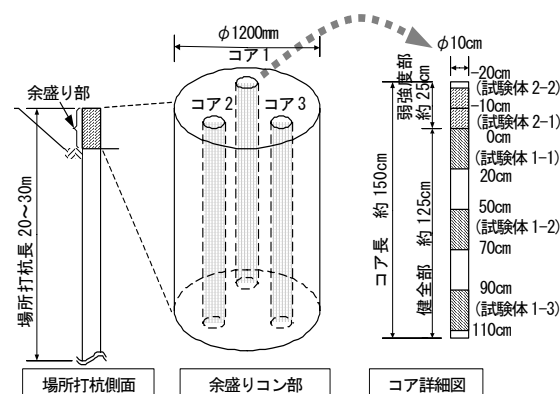
3.2 試験結果

(1) 余盛りコンクリートの強度と密度分布

図－３に杭頭余盛りコンクリートのコア圧縮強度および反発硬度の相対値を示す。今回の反発硬度は小さなコア試験体での測定となるため、推定強度による絶対値ではなく、境界面からの距離 110cm の反発硬度に対する相対値を用いた。なお、弱強度部と健全部との境界面をゼロ点、下向きを正とした。コア圧縮強度は深度の増加に伴って増加し、境界面からの距離 50～70cm の範囲で 40N/mm^2 以上の圧縮強度が得られている。反発硬度の相対値 30～60cm の範囲で低下していないことから、杭頭余盛りコンクリートは境界面から 30cm 以上で 40N/mm^2 を発現し、比



写真－１ 杭頭余盛りコンクリート

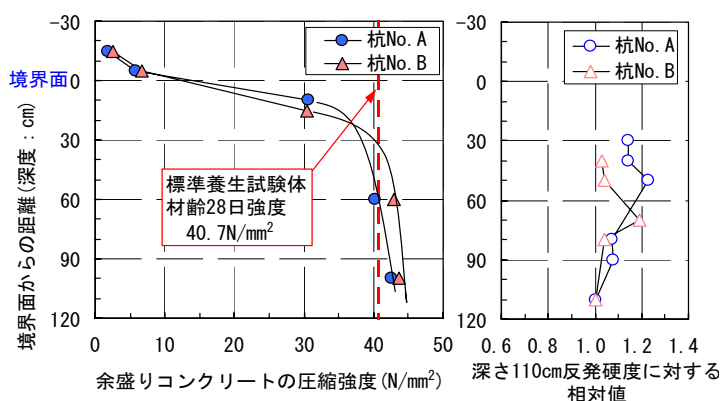


図－２ 余盛りコンの試料採取概略図

表－１ 場所打杭の配合

最大 骨材寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント 比 (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				混和剤 (G×%)	材齢28日 圧縮強度 (N/mm ²)
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		
40	15	42	4.5	40	172	410	660	1019	0.25	40.7

【使用材料】
 セメント：高炉セメントB種、密度 3.04g/cm^3
 細骨材：奈良県生駒市産、密度 2.55g/cm^3 、吸水率 1.87% 、粗粒率 2.80
 粗骨材：混合砂利（服部川産川砂利 50% 、国産砕石 50% ）、密度 2.62g/cm^3
 吸水率 0.80% 、実積率 61.0%
 混和剤：AE減水剤、リグニル硫酸化合物とポリオール複合体、密度 $1.06\sim 1.07\text{g/m}^3$



図－３ コアの圧縮強度と反発硬度の相対値

較的浅い位置で標準養生試験体 40.7N/mm² と同等の圧縮強度に達していると考えられる。

図－4に杭頭余盛りコンクリートの密度分布を示す。密度分布は強度分布と同様の傾向を示しており、深度の増加にしたがって密度が大きくなり、境界面からの距離15cm以上で2.2g/cm³とほぼ一定の密度を示している。

表－2に弱強度部と健全部の換算強度および換算密度を示す。図－3および図－4より2N/mm²、5N/mm²、30N/mm²および40N/mm²の圧縮強度が得られる境界面からの区間と密度を区分した。強度および密度の各区分に対する区間長が異なるため、弱強度部と健全部の強度および密度を相加平均ではなく、各区間長の比を考慮した加重平均で算出した。弱強度部と健全部の換算強度は2.6N/mm²、36.6N/mm²、換算密度は1.32g/cm³、2.20g/cm³である。なお、換算強度は後述する現場再生コンクリートの強度予測に、換算密度は配合計算の基礎データに用いた。

(2) 余盛りコンクリート破砕物の粒度分布

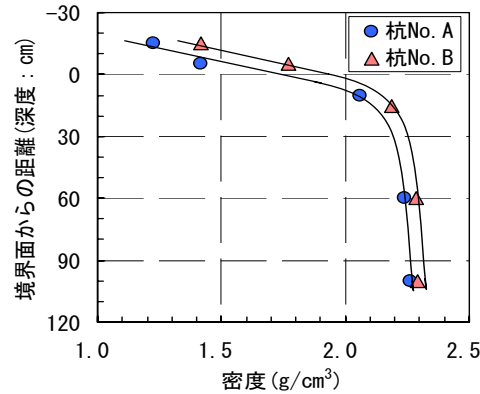
圧縮試験終了後の杭頭余盛りコンクリートコ

アを弱強度部と健全部に分けて試験室用 1t/h ジョークラッシャーにより破砕した粒度分布を図－5に示す。破砕前の目視観察では健全部は粗骨材には砂利が使用され、弱強度部は黄土色で粗骨材を含くまない塊であった。破砕後の粒度分布は、健全部に比べて弱強度部の方が微粒子の割合がかなり多く、粒径 5mm 以下の割合は、健全部で 27.1%，弱強度部で 47.5%であった。実際の杭頭余盛りコンクリートでは弱強度部と健全部の割合が杭毎に異なっており、杭頭余盛りコンクリートの破砕物を骨材に使用する現場再生コンクリートの品質は、弱強度部の混入割合に影響されることが考えられる。

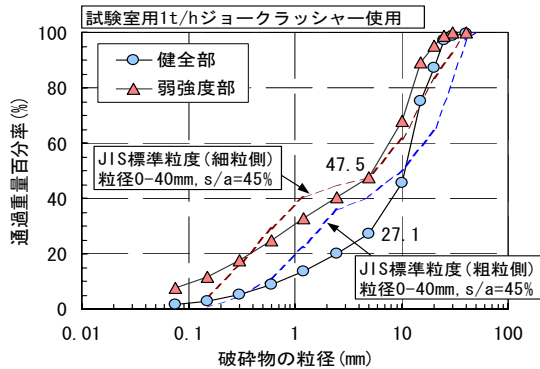
4. 現場再生コンクリートの特性と配合

4.1 試験概要

表－3に使用材料と配合を示す。骨材となる杭頭余盛りコンクリート破砕物は、弱強度部と健全部に分けて試験室用 1t/h ジョークラッシャーにより破砕したものを使用した。配合は、過去の実績をもとに水セメント比 42.5%，単位破砕



図－4 余盛りコンコアの密度分布



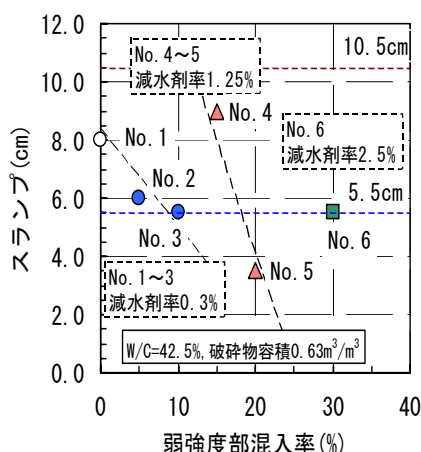
図－5 余盛りコン破砕物の粒度分布

表－2 弱強度部と健全部の換算強度および換算密度

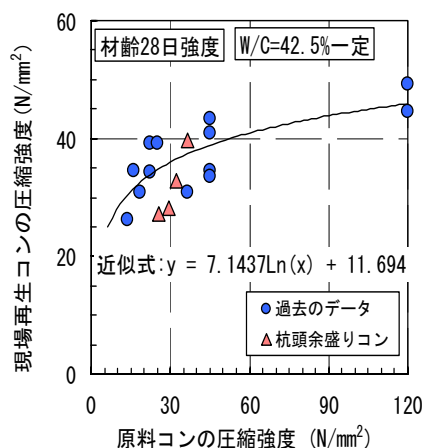
項目	弱強度部		健全部	
圧縮強度の区分 (N/mm ²)	2	5	5	30
境界面からの区間 (cm)	-25～-5	-5～0	0～5	5～30
密度の区分 (g/cm ³)	1.20	1.80	1.80	2.10
区間長 (cm)	20	5	5	25
換算強度 (N/mm ²)	2.60	36.6	式: 5×5/125+30×25/125+40×95/125	
換算密度 (g/cm ³)	1.32	2.20	式: 1.2×20/25+1.8×5/25	

表－3 使用材料と配合

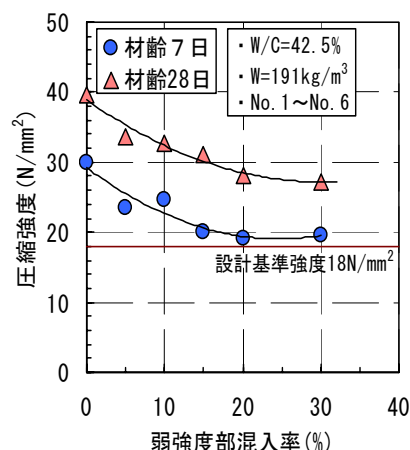
No	配合条件	弱強度部 混入率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
			水 W	セメント C	杭頭余盛りコンクリート破砕物 弱強度部	健全部
1	・ 水セメント比 W/C=42.5 % ・ 破砕物容積 0.63m ³ /m ³ ・ 破砕物最大寸法 25mm ・ 空気量 3% ・ 高性能 AE 減水剤使用	0	191	450	0	1386
2		5			67	1274
3		10			130	1169
4		15			189	1071
5		20			245	978
6		30			347	809
【使用材料】						
セメント		： 高炉セメント B 種、密度 3.03g/cm ³				
破砕物	弱強度部	： 弱強度部を試験用 1t/h ジョークラッシャーで破砕したもの 破砕粒径 0~25mm、換算強度 2.60N/mm ² 、換算密度 1.32g/cm ³				
	健全部	： 健全部を試験用 1t/h ジョークラッシャーで破砕したもの 破砕粒径 0~25mm、換算強度 36.6N/mm ² 、換算密度 2.20g/cm ³				
高性能 AE 減水剤		： 本「リカルド」ン酸エーテル系と架橋「リマ」の複合体、密度 1.05g/cm ³				



図－6 混入率とスランプ



図－7 原料コンと再生コンの強度



図－8 混入率と圧縮強度

物容積 $0.63\text{m}^3/\text{m}^3$ を一定とし、現場再生コンクリートの性能に及ぼす弱強度部混入の影響を評価するために、杭頭余盛りコンクリート破砕物全重量に対する弱強度部の重量混入率（以下、弱強度部混入率）を 0～30% の 6 水準とした。

練混ぜは、容量 50L パン型強制練りミキサを使用した。スランプは目標値の $8\pm 2.5\text{cm}$ となるように高性能 AE 減水剤量により調整した。試験項目は、スランプおよび圧縮強度を JIS 規格に準拠して測定した。

4.2 試験結果

(1) 弱強度部混入率とスランプ

図－6 に水セメント比 42.5% と単位破砕物容積 $0.63\text{m}^3/\text{m}^3$ を一定とした場合の弱強度部混入率とスランプの関係を示す。弱強度部混入率の増加により粘性が高くなり、スランプは小さくなる事が分かる。弱強度部混入率 15% までは高性能 AE 減水剤量の増加により使用可能なワーカビリティを示した。弱強度部混入率 20% 以上では粘性が高くなり、特に 30% では使用困難な性状となった。これは、高性能 AE 減水剤の標準使用量以上の添加と水セメント比の増加により改善可能であるが、硬化性状やコストへの影響が大きく、現実的でないと考えられる。

(2) 圧縮強度

表－4 に健全部混入率（杭頭余盛りコンクリート全重量に対する健全部の重量混入率）を乗じた杭頭余盛りコンクリート換算強度と現場再生コンクリート圧縮強度を示す。なお、杭頭余

表－4 余盛りコン換算強度と再生コン圧縮強度

弱強度部混入率 (%)	健全部混入率 (%)	余盛りコン換算強度* (N/mm ²)	現場再生コン圧縮強度 (N/mm ²)
0	100	36.6	39.6
10	90	32.3	32.8
20	80	29.3	28.1
30	70	25.6	27.2

*) 健全部混入率 90% の場合の余盛りコン換算強度
健全部混入率 × 表－2 中の健全部換算強度
= $0.9 \times 36.6 = 32.9\text{N/mm}^2$

盛りコンクリート換算強度 36.6N/mm^2 は、表－2 に示す加重平均した圧縮強度である。次に、この杭頭余盛りコンクリート換算強度を用いて、水セメント比 42.5% 一定で過去のデータを含めた原料コンクリート強度と現場再生コンクリート強度の関係を図－7 に示す⁵⁾。原料コンクリート強度の増加により現場再生コンクリート強度も増加しており、健全部混入率を乗じた杭頭余盛りコンクリート換算強度と現場再生コンクリート強度の関係も過去のデータと同様の傾向を示している。したがって、水セメント比一定の場合、過去のデータから得られた近似式に健全部混入率を乗じた杭頭余盛りコンクリート換算強度を用いることで現場再生コンクリートの圧縮強度を予測可能であると考えられる。

図－8 に水セメント比と単位破砕物容積を一定とした場合の弱強度部混入率と圧縮強度の関係を示す。圧縮強度は弱強度部混入率の増加に伴って低下し、混入率 0% で 40N/mm^2 、30% で 27N/mm^2 と混入率 0% に比べて 3 割程度低下するが、今回の設計基準強度 18N/mm^2 以上となっている。

(3) 配合の検討

図－6および図－8により弱強度部混入率 20～30%でワーカビリティ確保のために水セメント比 42.5%を 5.0%程度増加した場合，各学協会で提案されている水セメント比換算式によると圧縮強度は 10～20%低下すると考えられる⁶⁾。さらに，コンクリート製造の変動係数，養生条件，環境条件などを考慮すると弱強度部混入率 30%で設計基準強度 18N/mm²を下回る可能性がある。したがって，水セメント比 42.5%，単位破砕物量 0.63m³/m³の場合に，ワーカビリティと設計基準強度を満足する弱強度部混入率の上限値を 20%と考え，混入率の標準値を 10%とした示方配合を表－5に示す。

5. 適用結果

5.1 品質管理方法

現場再生コンクリートの品質管理項目を杭頭余盛りコンクリートの弱強度部混入率，スランブおよび圧縮強度とした。スランブは，コンクリートバケットでの打設と平らに仕上げられるワーカビリティおよび運搬時間を考慮して，製造後 50 分で 8±2.5cm を管理目標値とした。また，圧縮強度は 18N/mm²以上とした。

弱強度部混入率は，配合試験により設計基準強度 18N/mm²を満足するように 10±10%とした。弱強度混入率 10%の場合，表－2の換算密度を用いた弱強度部と健全部の高さ比は 0.2:1.0 となるため，実施工では杭頭余盛りコンクリートの黄土色の弱強度部分が 5cm 程度となるように作業員に指示して油圧ブレーカにて除去した。これにより，実測の健全部長は 1m 以上であるため，

弱強度部が 10cm 程度残った場合でも混入率は 6%程度と管理目標値以下であると考えられる。

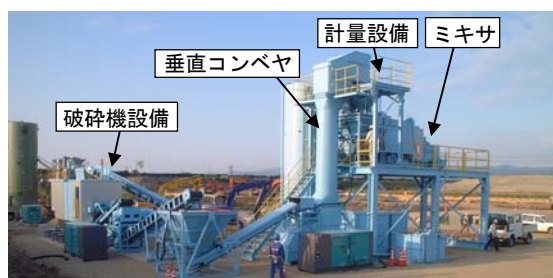
5.2 適用配合

室内試験により選定した示方配合（表－5 参照）をもとに施工直前に専用製造装置での実機試験練りを実施した。実機と室内試験の破砕粒度，粒径，練混ぜ性能の差および運搬時間を考慮して，製造後 50 分の目標スランブが 8±2.5cm となるように示方配合を微調整して使用した。

5.3 施工状況

(1) 製造および施工方法

写真－2に解体コンクリート破砕能力 30t/h，現場再生コンクリート製造能力 20m³/h の製造装置を示す。30～45cm 程度に小割りした杭頭余盛りコンクリート塊を 0.7m³ 級バックホウでクラッシャーに投入し，破砕する。振動スクリーンにより粒径 40mm 以上の破砕物は，還流用ベルトコンベアでクラッシャーに還流し再破砕される。一方，粒径 40mm 以下の破砕物は，無処理で 100%骨材として 1 バッチ分自動計量される。破砕物と同時に自動計量した水，セメント，混和剤を容量 0.4m³ パン型ミキサに投入して 70 秒間練混ぜてアジテータ車に排出する。今回の施工では運搬に 50 分程度かかるため，2～3 台のアジテータ車を使用し，打設はクレーンによる容量 0.5m³ コンクリートバケットで行った。



写真－2 専用製造装置

表－5 示方配合

弱強度部 混入率 (%)	破砕物 最大寸法 (mm)	水セメント 比 (%)	空気量 (%)	破砕物 容積 (m ³ /m ³)	単 位 量 (kg/m ³)				高性能 AE減水剤 (C×%)
					水 W	セメント C	余 盛 り コ ン ク リ ー ト 破 砕 物		
							弱 強 度 部	健 全 部	
標準値 10	40	42.5	3.0	0.63	191	450	130	1170	1.0
【使用材料】									
セメント					： 高炉セメントB種， 密度 3.03g/cm ³				
コンクリート破砕物									
・ 弱強度部					： 杭頭余盛りコンクリート弱強度部， 換算強度 2.60N/mm ² 換算密度 1.32g/cm ³				
・ 健全部					： 杭頭余盛りコンクリート健全部， 換算強度 36.6N/mm ² 換算密度 2.20g/cm ³				
高性能AE減水剤					： ホリカルボン酸エーテル系と架橋ホリマーの複合体， 密度 1.05g/cm ³				



写真－3 打設状況

(2) 施工性

写真－3 に現場再生コンクリートの打設状況を示す。均しコンクリートの厚さは 100～130mm であり、簡易な 100V 棒状バイブレータにより容易に締固め可能であった。低水セメント比で高セメント量により多少粘性が高く、ブリーディングが少ないため、表面は仕上げ難かったが、作業員の慣れにより大きな問題とならなかった。

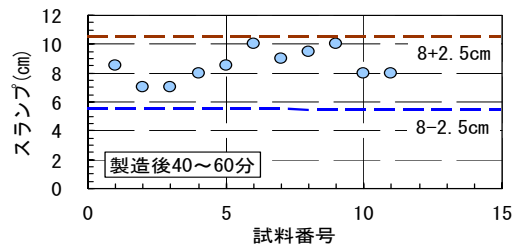
5.4 品質管理試験結果

図－9 に製造後 40～60 分の現場到着時のスランプ試験結果、図－10 に圧縮試験結果を示す。スランプは目標値の $8 \pm 2.5\text{cm}$ の範囲内にあり、安定していることが分かる。データ数は 11 点と少ないが、圧縮強度は平均で 35.2N/mm^2 、標準偏差で 3.37N/mm^2 、変動係数で 9.6% となり、 -2σ 以上の良好な値を示している。これは、弱強度混入率を弱強度部と健全部の高さ比を目安に黄土色の弱強度部を除去したことが有効に作用したと考えられる。

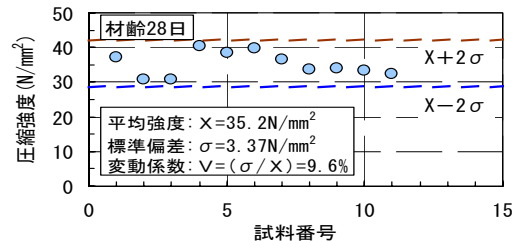
6. まとめ

杭頭余盛りコンクリートを原料とした現場再生コンクリートの配合設計と品質管理方法を検討した後、橋脚の均しコンクリートに適用し、以下の結果を得た。

- (1) 今回の杭頭余盛りコンクリートの圧縮強度は、弱強度部と健全部の境界面からの距離 30cm 以上で標準養生試験体と同様の 40N/mm^2 が得られた。
- (2) 水セメント比一定の場合、過去のデータから求めた近似式に健全混入率を乗じた杭頭余盛りコンクリートの換算強度を用いることで現場再生コンクリートの圧縮強度を予測可能である。
- (3) 弱強度部混入率の増加により現場再生コンクリートのスランプおよび圧縮強度は低下する。弱強度部混入率の上限値を 20% とすることで均しコンクリートに必要なワーカビリティと設計基準強度 18N/mm^2 を満足する配合が得られた。



図－9 現場到着時のスランプ試験結果



図－10 圧縮試験結果

- (4) 実施工では、弱強度部混入率 10% の場合の弱強度部と健全部の高さ比 0.2:1.0 を目安に黄土色の弱強度部が 5cm 程度となるように除去することで安定した現場再生コンクリートの品質が得られた。

謝辞

現場再生コンクリートの配合設計および適用にあたり、ご協力頂いた国土交通省近畿地方整備局奈良国道事務所並びに関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：平成 12 年度建設副産物実態調査結果，2002
- 2) 日本政策投資銀行：都市再生と資源リサイクル，調査 33 号，2002.2
- 3) 飯田一彦：解体コンクリートのリサイクルに関する研究，新潟大学学位論文，2000.9
- 4) 松田敦夫ほか：オンサイト・クローズド型再生コンクリートの概要，建設マネジメント技術，No.275，pp.46-50，2001.4
- 5) 廣中哲也ほか：解体コンクリート塊を全量使用した再生コンクリートの諸特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.22，No.2，pp.1135-1140，2000.6
- 6) 岡田 清，六車 熙編：コンクリート工学ハンドブック，朝倉書店，pp.341-344，1981