

劣化抑制を考慮したコンクリートの品質向上について

技術者番号: 68427

株式会社 アキヤマ

土木部 第二課長 鈴木良治

平成29年度 1号土橋高架橋橋梁補強工事

1. はじめに

土橋高架橋は、静岡県袋井市土橋に架設されている一般国道1号の高架橋である。

対象構造物の建設時期は昭和58年で、現在の耐震基準には適応していない。

そのため、コンクリート巻き立てによる橋脚補強などの耐震補強をおこなうものである。

コンクリート構造物は耐久性が高く、半永久的にその耐久性が保持されるものと思われてきた。

しかし、その判断は過信であり、メンテナンスフリーで半永久的に耐久性を保てるものではない。

コンクリート構造物は建造された後に、長期間自然環境にさらされる。

そのため中性化・塩害・アルカリシリカ反応・凍害・乾燥・長期荷重など、数多くの劣化機構の影響を受ける。

コンクリート巻き立てによる補強においても、施工完了後から、明らかに始まる劣化に対して、耐久性の高い構造とすることが重要課題と位置付けた。

本文では劣化抑制を考慮した、コンクリートの品質向上を目的とし、材料の検討から施工方法の検討、さらに施工効果の確認について述べる。

2. 工事概要

工期：平成30年3月20日
～平成31年3月8日

発注者：国土交通省 中部地方整備局
浜松河川国道事務所

工事内容

橋梁附属物工

落橋防止装置工(チェーン式) 1式
(A1、P5、A2)

変位制限装置工(鋼製ストッパー) (A1、P1、P2、P3、P4、P5、A2)

落橋防止装置工(PCケーブル) (P3)

◆橋脚巻立て工 1式

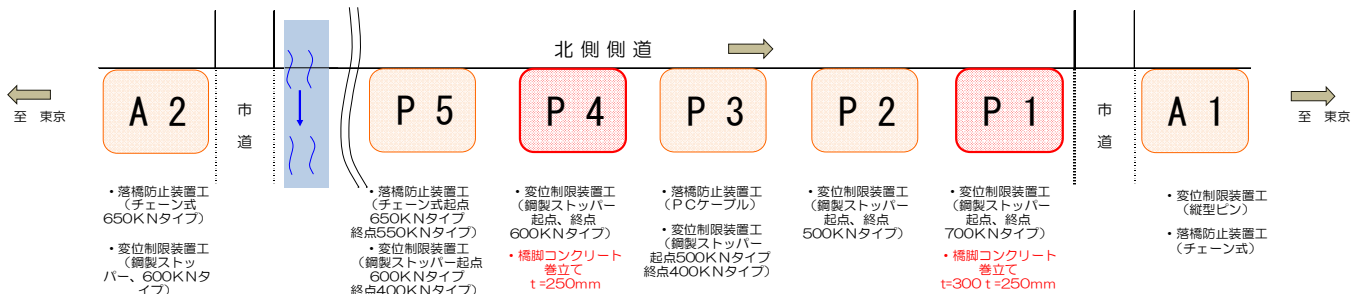
◆橋脚コンクリート巻立て工 (P1、P4)

排水構造物工 1式

防護柵工 1式

構造物撤去工 1式

仮設工 1式



3. 課題と検討事項

コンクリートの劣化速度は、使用するコンクリートの品質や施工方法の良否により、大きく影響を受ける。

乾燥収縮が少なく、クラック発生の要因など劣化機構へ与える影響が少ないこと、施工により発生する外部や内部に起こる劣化要因が少ない。

配合の良いコンクリートを使用して、より最適な施工がされた場合には劣化速度は遅く、その反面では劣化速度は早まる。

劣化機構を考慮した耐久性の向上には、十分な検討と対策が必要である。

- 課題
- 1) 乾燥収縮によるクラック発生の抑替
 - 2) コンクリート充填性の確認
 - 3) 劣化機構による性能低下の性能記

- 検討事項
- 1) コンクリート配合
 - 2) 施工方法
 - 3) 効果の確認方法

4. 検討事項に対する実施事項

4-1 コンクリート配合の検討

劣化機構に対する耐久性の高いコンクリートにするためには、緻密でクラックの発生が無く、収縮性の低いコンクリートとすることが必要である。

発注時指定によるコンクリート24-12-25Nの配合の場合には、水セメント比が54.5%と基準値の55%以下に対して余裕がない。

品質の良い生コンを構築する上では、水セメント比(W/C)を小さくすることで、乾燥収縮を防ぐ効果が高くなること、一般的に知られている。

中性化および塩害などの劣化機構への抑制効果があり、さらにセメント硬化体の空隙も小さくなることで、密実性が高まり、優れた耐久性のコンクリートが構築できる。

また、コンクリートの増厚さは250mm程度と薄く、脱型後から生じる乾燥収縮が既設コンクリートに拘束されて、クラックが発生する可能性が高い。

そのため膨張材(膨張率 $150\sim 250\times 10^{-6}$)を使用した収縮補償用コンクリートとしている。

各条件を検討した結果から、コンクリートの配合を30-15-25N(膨張材)とした。

【目標スランプの設定】

コンクリートの性質上、製造～打設作業までの一連の作業を通して、スランプが変化することを考慮し、必要とするスランプが確実に得られるように、練上がりのスランプを設定した。

打ち込み時の最小スランプの設定	→	10 cm	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px solid blue; height: 100px; width: 2px;"></div> <div style="border-left: 1px solid red; height: 100px; width: 2px;"></div> </div> スランプ設定の流れ ↑ コンクリートの移動 ↓
スランプ管理幅(許容値を加算)	→	2.5 cm	
スランプ低下(参考値:夏期30分)	→	1.5 cm	
荷降ろしヶ所の目標スランプの設定	→	14 cm	
練り上がり最小スランプの設定	→	15 cm	

コンクリートの対比

対象	セメント	混和剤	水	細骨材	粗骨材	混和剤	水結合比(W/C)	細骨材率
基準値(20~25mm)	270以上	-	175以下	-	-	-	55%以下	-
設計 24-12-25N	281	0	153	778	1102	2.81	54.5%	41.7%
今回 30-15-25N	300	20	151	862	991	2.24	47.2%	46.8%

発注時の配合では水セメント比に余裕がなく、コンクリート配合シート(案)では、材料分離抵抗性と振動締固め性が条件の範囲に入っていない。

そのため施工面での充填性などに問題があり、内部欠陥の発生などが懸念される。

よって目的とする品質の向上には適さない。

提案した配合では膨張材使用時の指定事項(単位結合材量 $290\text{kg}/\text{m}^3$)をより満足させられるように、ランクアップした配合(セメント $300\text{kg}/\text{m}^3$)として各設定を範囲以内とした。

コンクリートの配合照査シート(案)

配合の照査

【設計指定配合 24-12-25Nの場合】

配合表 (kg/m^3)

スランプ(cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/cm^3)			
			W	C	S	G
12	54.5	41.7	153	281	778	1102

●材料分離抵抗性、振動締固め性照査

打込みのスランプ

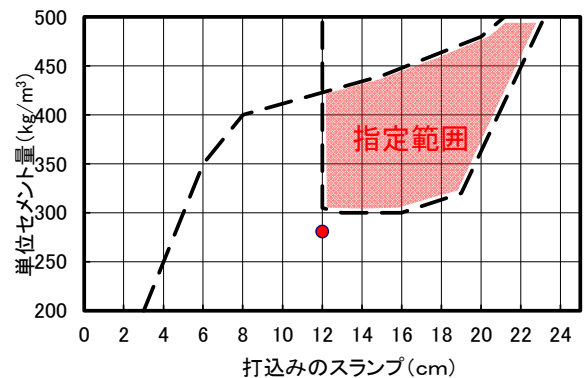
JIS規定スランプ(圧送ロス+温度ロス)
 $F - (B + C) = 12$ cm

構造条件

4:壁

施工条件

07: $200\text{kg} \leq s < 350\text{kg}$, $a < 100\text{mm}$, $h < 3.0\text{m}$
 s: 鋼材量, a: 最小あき, h: 締固め作業高さ



指定の範囲内がないのでNG

●細骨材率の照査

荷卸し箇所のスランプ

JIS規定スランプ 12 cm

配合表の細骨材率

41.7 %

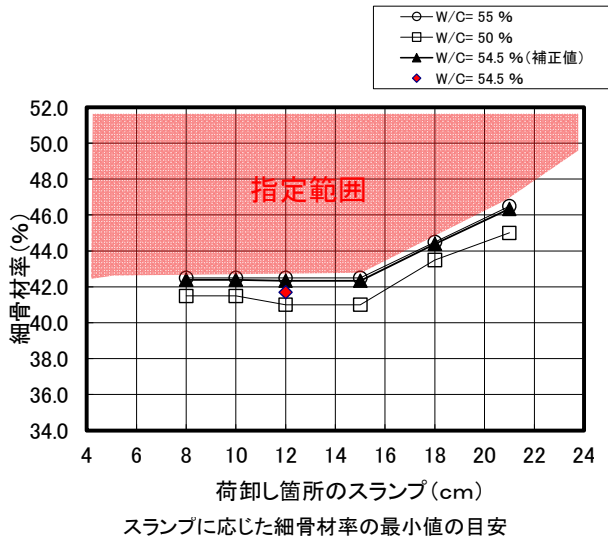
配合表の水セメント比

W/C= 54.5 %

材料条件(粗骨材の最大寸法)

Gmax=20・25mm

●細骨材率の照査



グラフ線の上側がないのでNG

【検討配合 30-15-25N (膨張材) の場合】

配合表 (kg/m³) W/C:水結合比とする

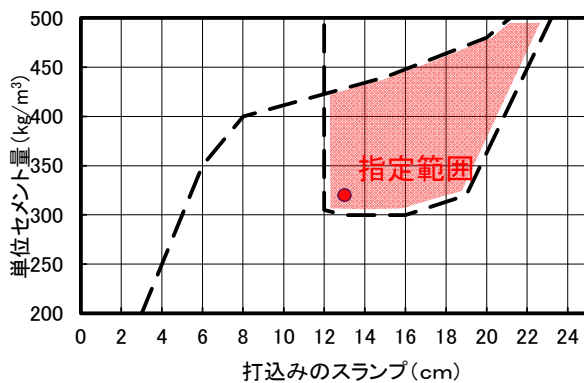
スラブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/cm ³)		
			W	C	G
15	47.2	46.8	151	320	862

●材料分離抵抗性、振動締固め性照査

打込みのスラブ JIS規定スラブ-(圧送ロス+温度ロス)
F-(B+C)= 13 cm

構造条件 4:壁

施工条件 07: 200kg ≤ s < 350kg, a < 100mm, h < 3.0m
s: 鋼材量, a: 最小あき, h: 締固め作業高さ



指定の範囲内にあるのでOK

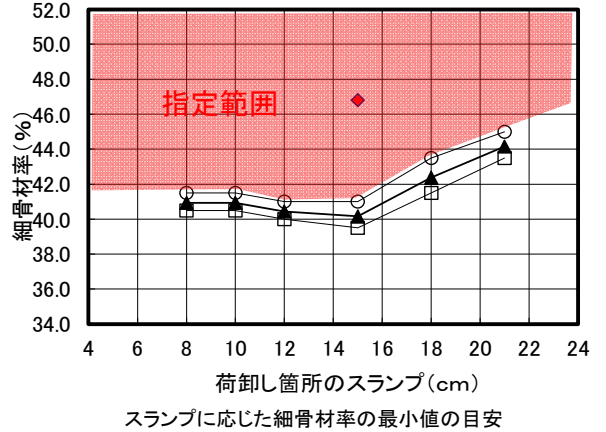
●細骨材率の照査

荷卸し箇所のスラブ JIS規定スラブ 12 cm

配合表の細骨材率 41.7 %

配合表の水セメント比 W/C= 54.5 %

材料条件(粗骨材の最大寸法) Gmax=20・25mm



グラフ線の上側にあるのでOK

4-2. 施工方法の検討

(コンクリート再振動締固め等)

コンクリート標準示方書 施工編ではコンクリートの締固め作業で、最初の振動を与えてから一定時間後に再振動を行うことで、より品質の高いコンクリートが構築できると記載されている。

再振動により、コンクリート内に発生する空隙や余剰水(ブリーディング)が排出されて、コンクリート強度および鉄筋付着力の増加、沈下ひび割れや気泡の低減などの効果が得られるなど、土木学会の試験施工では良好な結果が報告されている。

また、再振動の実施により、劣化機構に関する試験数値も改善され、再振動は劣化機構に対して有効なことが報告されている。

再振動は適切な時期に行われることが前提である。

そのため再振動の施工方法を決定する目的で、試験施工をおこなった。

【再振動試験施工】

配 合) 30-15-25N
(高性能AE減水剤、膨張材)

施 工) 平成30年5月実施
900×900×900 4基
高周波バイブレータ φ 40 mm 1機

※ 型枠吸水型枠
(試験的に試験体、振動なし・30分後の2基に使用して効果を確認した。)

再振動) 無 再振動なしと再振動開始時間30分後毎に分けた4パターンでおこなった。
 30分後
 60分後
 90分後

再振動は200mm間隔で気泡がなくなるまでおこない、ゆっくり引き抜く。

打設記録) 日時、天候、気温 湿度の記録

※再振動開始時期のブリーディング状況(指差しによる状況観察)

養生) 湿潤膜養生28日間

品質試験) 供試体採取 ($\sigma 7$ 、 $\sigma 28$)

試験体からコア採取
 (各試験体ごと $\sigma 7$ 、 $\sigma 28$)

供試体と試験体コアの圧縮強度試験を実施した。

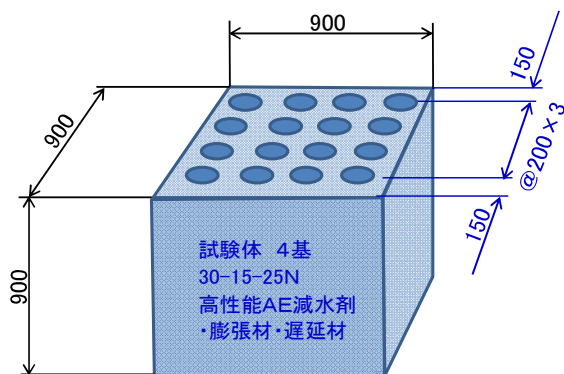
試験体コア $\sigma 7$ は、休日による日時調整で $\sigma 12$ にて実施している。

結果の整理) 再振動締固めの有効性について確認
 1) 品質向上の有無
 2) 再振動開始時期の決定

各供試体の強度試験の結果から、再振動による効果を確認し、再振動開始時期を決定する。

また、透水シート型枠の有効性について確認する。

試験施工のイメージ



バイブレーター間隔 $\phi 40$ mmバイブレータの5倍以内(200mm)にて設定した。

初回の振動時間は基本5~15秒の範囲で10秒以上15秒以内とし、打設時のコンクリートの性状変化に注意して観察した。

(表面の光沢、堰板接触部のモルタル線の出現状態で把握する。)

コンクリート再振動試験施工



実施風景



再振動による気泡の上昇



再振動後の沈み込み



コア採取

4-3. 試験施工効果の確認

試験体より、コア採取をして圧縮強度試験($\sigma 12$ 、 $\sigma 28$)を実施した。

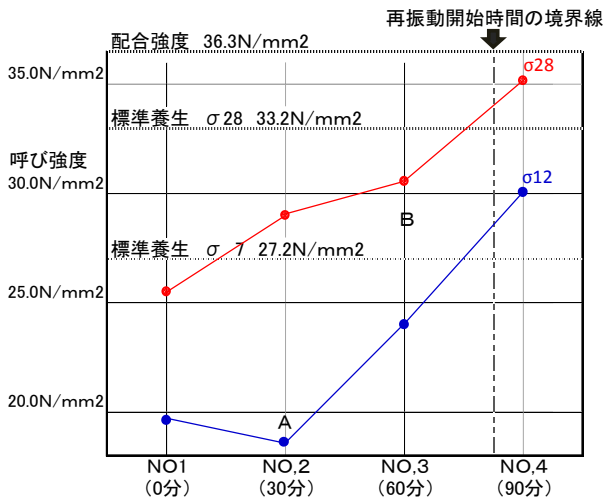
呼び強度		30.0	
配合強度		36.2	
標準養生	$\sigma 7$	27.2	N/mm ²
	$\sigma 24$	33.2	

試験体コアの圧縮強度試験結果 ($\phi 100$ mm)

$\sigma 12$	1	2	3	平均	質量の平均値	備考
NO, 1 (0分)	20.0	19.4	19.9	19.7 N/mm ²	3.715 Kg	
NO, 2 (30分)	17.6	18.1	20.6	18.7 N/mm ²	3.726 Kg	
NO, 3 (60分)	23.8	23.4	24.8	24.0 N/mm ²	3.769 Kg	
NO, 4 (90分)	30.0	30.6	30.8	30.4 N/mm ²	3.950 Kg	

$\sigma 28$	1	2	3	平均	質量の平均値	備考
NO, 1 (0分)	25.6	24.5	26.2	25.4 N/mm ²	3.959 Kg	
NO, 2 (30分)	28.3	29.1	29.8	29.0 N/mm ²	4.068 Kg	
NO, 3 (60分)	30.1	30.7	30.5	30.4 N/mm ²	4.127 Kg	
NO, 4 (90分)	34.9	33.8	36.6	35.1 N/mm ²	4.089 Kg	

4-5. コンクリート再振動施工の実施



各再振動締固め開始時間毎の試験体では圧縮強度の値は「再振動なし」の場合より、強度が高くなる傾向が判った。

再振動90分後σ12σ28の圧縮強度は標準養生の強度とよりも高い数値が得られている。

コアの質量は再振動をおこなった試験体ではより重くなる。

それは、より密実に仕上がっている結果だと判断ができる。

そのため、圧縮強度はより高い値になっていると考えられる。

試験施工では再振動をしなかった場合と比べて、再振動をおこなった場合には型枠天端面からのコンクリートの沈み込みが大きく、コンクリート内の余剰水が外部に排出され、締固めの効果が得られている結果だと判断した。

初回の締固め時にコンクリート中に残された、気泡も確実に排出され、透水シートを利用した試験体では、コンクリート表面の気泡は発生していない。

そのことから、再振動締固めの実施により、コンクリートの品質は向上されていると判断できた。

養生にはσ28までの期間内を、養生マットと散水による湿潤養生を実施した。

4-4. 結果の整理

再振動締固めは開始時間が遅いほど品質は向上されている。

施工性では再振動の開始時期は初期振動の終了から90分後であっても、バイブレータの挿入が可能で再振動が出来ることが確認できた。

【決定事項】

再振動の開始時期は初回の振動締固め終了から90分後に開始する。

透水シート型枠は採用することとした。

バイブレータφ40mm (長尺バイブレータ)2台
挿入間隔200mm



打設風景



再振動(90分後開始)



透水シート型枠に設置



使用バイブレータ



散水養生風景



塗膜養生材散布



塗膜養生(散水あり)



完了(σ28)



透気試験器(NETIS)



透気試験実施風景

再振動試験施工の結果を踏まえて、本施工をおこなった。

再振動開始は再振動の終了時点から90分後に開始し、通常はフレキシブル部分の長い高周波バイブレータ使用するところ、フレキシブル部が鋼製パイプの高周波バイブレータφ40mmを使用した。

振動深さが2m以上あり、バイブレータが構造体底部まで確実に再振動がおこなえるように工夫をしている。

コンクリート再振動の施工は問題なく終了し、養生マットと散水を材齢28日まで実施し、湿潤状態を保った。

各検討事項の実施に伴い構造物の品質がどの程度改善されているのか、仕上がり具合と非破壊試験によって確認した結果を記載する。

4-6. 施工の結果

【圧縮強度確認】

標準養生

σ_7 22.4N/mm²

σ_{28} 42.7N/mm²

テストハンマー強度確認

σ_{28} 43.7N/mm²

(配合強度の19.7%増の強度)

【緻密性の確認】

透気試験の実施結果

既存橋脚部 粗（透過しやすい）

施工部 非常に緻密（非常に透過しにくい）

仕上がり具合は、砂目なし、気泡なし、表面は大変に緻密で硬度の高い質感で仕上がっている。

各試験結果から通常施工に比べ品質の改善効果は顕著にあらわれている。

3カ月程度の継続した観察過程では、クラックの発生はなく、コンクリート表面の質感に変化はなかった。

また、初期振動終了後の90分以降の時期で再振動を実施することにも検討の余地があり、初期振動後のコンクリート内部の気泡、余剰水の移動が終わった時点が、再振動開始時期の最適時期であると判断した。

スクラップ・アンド・ビルドの時代が終わり、資源循環型社会が要請される時代にとって、この施工方法は非常に有効な手段であることが判った。

しかし、実施には施工条件などにより、工程やコストには課題があることも付け加えたい。

今後もより高品質で、ライフサイクルコストの削減を意識した構造物の構築に、さらに研鑽していきたい。

5. まとめ

今回の取り組みは、劣化機構に対して耐久性の高い、コンクリートの構築を目的におこなった。

コンクリートの配合には膨張材を用い、乾燥収縮そのものを小さくする収縮補償用コンクリートとしたことで、クラックは発生していない。

余剰水や気泡をコンクリート外部に排出する目的で、コンクリートの再振動締固めを実施したことで、仕上がり面は非常に緻密で、ジャンカや気泡、沈下クラックの発生はない。

各方面で報告のあるように、コンクリートの品質は向上され、高品質なコンクリートの構築に成功した。

一般的な施工に比べコンクリートの性状は二次製品に近く、透気性は5mm以下という結果からも、二酸化炭素の進入を防ぎ中性化に対して耐久性が高い構造となっている。

初期に振動を掛けたコンクリートを60分以上放置して、2m程度の深さを再度振動する行為が可能なのは実践するまで疑問であった。

しかし、実践した結果から、その施工は可能であり、コンクリートの品質改善には大変有効であることを知る結果となった。