

論文 スランプ21cmの高性能AE減水剤を使用したコンクリートの施工性能

畑 明仁*¹・高橋 昭一*²・長田 光司*³・大友 健*⁴

要旨：過密配筋の構造部材を対象とした設計基準強度50N/mm²・スランプ21cmの高性能AE減水剤を使用したコンクリートについて、ワーカビリティ保持性能と振動締固め時の加速度伝播状態、打込み時の横移動の影響を実験的に評価した。この結果から、ワーカビリティ保持時間と許容打重ね時間間隔の関係、締固め作用の伝播状態の評価方法と各種内部振動機による振動有効範囲を明らかとした。また、打込み時の横移動の影響の調査結果も含めて、所要の品質を確保するために適切なコンクリートの施工方法を検討する資料を得た。

キーワード：高性能AE減水剤を用いたコンクリート、打重ね、締固め、打込み、施工性能

1. はじめに

高強度コンクリートの使用や耐震性能の向上などを背景として、特に橋梁上部工構造物においては部材厚がより小さく鋼材量がより大きくなる傾向にある。このため使用するコンクリートの施工性能について、これまで以上の高いレベルでの検討が必要となってきた。

第二東名富士川橋ではアーチリブ部材の施工に先立ち、より高い耐久性能を確保することを目的として、構造条件・施工条件から決定されるコンクリートの要求性能を整理した。そして一連の要求性能の各々の項目について性能確認試験を行い十分な性能が確保されていることを照査した上でコンクリートの仕様を確定し、このコンクリートを用いてスパン265mの長大アーチリブの打設を実施している。

本研究は、アーチリブ部材の施工に使用した設計基準強度50N/mm²・スランプ21cmの高性能AE減水剤を使用した早強コンクリート（以下、高性能AE減水剤コンクリートと呼ぶ）の施工性能の評価実験結果をまとめたものである。

2. 施工性能の評価実験の内容

ここでいう施工性能とは、1) 運搬、打設、打重ねまでの時間内に必要なワーカビリティが確保され、2) 締固めが全範囲にわたって確実に行なえ、3) 過密配筋の構造に対して十分な打込み作業性を有することをいう。

スランプ21cmの高性能AE減水剤コンクリートの施工性能を把握するために、1) ワーカビリティ保持性能確認実験、2) 振動締固め実験、3) 打込み実験の3種類の実験を行なった。

ワーカビリティの保持性能確認実験においては、長距離運搬と施工に要する時間を考慮して、練上りから2.5時間以上のワーカビリティ保持が可能となる高性能AE減水剤コンクリートを配合し、凝結特性を測定することで許容打重ね時間間隔を評価した。

振動締固め実験では、実構造物を模擬した型枠内に投入したコンクリートを種類の異なる内部振動機で締め固め、コンクリートに作用する加速度を測定することで締固め作用の伝播性を評価し適切な締固め方法を確認した。

*1 大成建設(株)・フジタ(株)・(株)ピー・エス第二東名高速道路富士川橋工事共同企業体主任
(現 大成建設(株)エンジニアリング本部主任) 工修 (正会員)

*2 日本道路公団静岡建設局富士工事事務所構造工事区工事長

*3 日本道路公団静岡建設局富士工事事務所構造工事区 博士(工学) (正会員)

*4 大成建設(株)技術センター土木技術研究所主任研究員 博士(学術) (正会員)

表-1 コンクリートの仕様と配合

設計基準強度	50N/mm ² (P2-2(H)), 30N/mm ² (A1-3)								
粗骨材の最大寸法	25mm (P2-2(H), A1-3)								
空気量の範囲	4.5±1.5% (P2-2(H), A1-3)								
配合種別	スランプ範囲 (cm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位置量(kg/m ³)					
				水	セメント	細骨材	粗骨材	高性能AE減水剤	AE減水剤
P2-2(H)	21±1.5	39	48	160	410	836	914	6.56	-
A1-3	8±2.5	48	43	158	333	773	1052	-	3.33
セメント	早強 [®] ポルトセメント(P2-2(H)) 普通 [®] ポルトセメント(A1-3)								
骨材	山砂(星山産), 山砂利(星山産)								
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテルと配向 [®] ポリマーの複合体								
AE減水剤	変成リギン sulfon 酸化合物								

打込み実験においては、型枠内でコンクリートを横移動させた時のコンクリートの均質性を評価することで適切な打込み方法を確認した。

3. コンクリートの配合と使用材料

実験の対象とした設計基準強度50N/mm²・スランプ21cmの高性能AE減水剤コンクリート(P2-2(H))の仕様と配合を表-1に示す。設計基準強度30N/mm²の普通コンクリート(A1-3)は振動締固め実験の比較用として使用した。

使用した高性能AE減水剤はポリカルボン酸エーテル系の主成分に配向ポリマー成分と遅延成分を配合したものであり、夏場におけるワーカビリティの長時間保持を考慮して、市販品に対して経時保持成分と凝結遅延成分の比率を変化させたものとした(凝結遅延性:市販品<R2<R3)。混和剤の選定の過程で、実験室内で測定したR2あるいはR3を使用したコンクリート(以下R2配合、R3配合と称する)のスランプとスランプフローの経時変化を図-1に示す。

4. ワーカビリティ保持性能確認実験

実機プラントで練り混ぜたR2配合およびR3配合のスランプとスランプフローの経時変化を図-2に示す。R2配合とR3配合とでは練置き時のコンクリート温度が2℃程度異なるが、相対的には実験室で測定したR2配合とR3配合との相違と同様の傾向を示し、R2配合はR3配合に

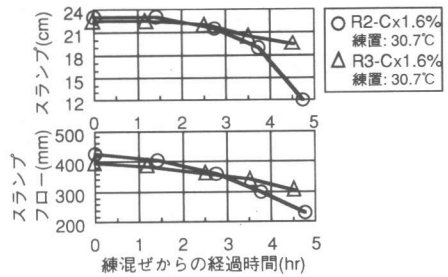


図-1 ワーカビリティの経時変化(実験室内)

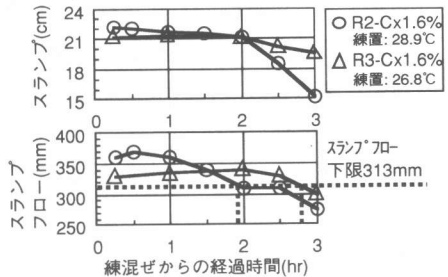


図-2 ワーカビリティの経時変化(実機)

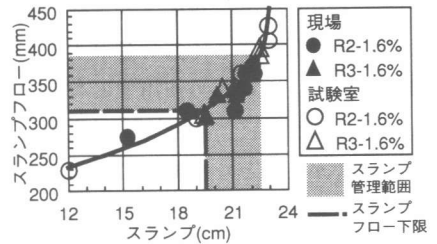


図-3 スランプとスランプフローの関係

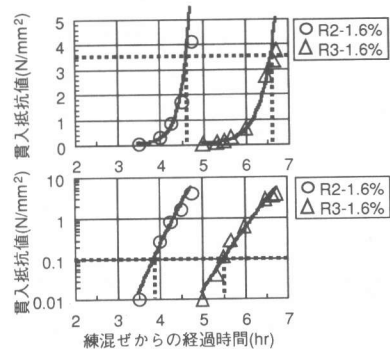


図-4 凝結試験結果

比べて2時間以降のスランプの低下の程度が大きくなった。

図-3には実験室内および実機での測定結果を合わせてスランプとスランプフローとの関係を示す。スランプとスランプフローとは良い相関を示すが、スランプの大きい領域では、コンク

リートのワーカビリティをスランプフローの
方がより良く反映する傾向があった。そこで、
施工の対象とした構造物に対して設定した目標
スランプの管理範囲の下限19.5cmに相当する
スランプフロー310mmとなる時間をワーカビ
リティ保持時間と定義した。

図-4には実機プラントで練り混ぜたR2配合
とR3配合の凝結特性の測定結果を示す。凝結
始発時間に加えて貫入抵抗値が $0.1N/mm^2$ となる
時間を許容打重ね時間間隔として評価¹⁾し
た。スランプフローの経時による低下の程度が
小さいR3配合がR2配合に比べ、凝結始発時間、
許容打重ね時間間隔ともに遅延する傾向が明ら
かとなった。R2配合の場合、実際に捨て型枠
内に放置された状態で、3.3時間後では内部振
動機がよく利くが4.3時間では全く利かない状
態となり、貫入抵抗値から判断される許容打重
ね時間間隔が作業上の感覚とおおむね適合して
いるようであった。

表-2に示すように凝結始発時間と許容打重ね
時間間隔をワーカビリティ保持時間と比較す
ると、許容打重ね時間間隔はワーカビリティ
保持時間のおおよそ2倍、凝結始発時間はおよ
よそ2.4倍が見込めると判断できる結果を得た。

5. 振動締め実験

振動締め実験に使用した試験体の形状寸法
と配筋を図-5に示す。表-3に示す性質の高性能
AE減水剤R3を用いたスランプ21cmのコンクリ
ートと通常のスランプ8cmのものを各々型枠に
打ち込み、表-4に示す方法で締め固めた。

スランプ21cmの場合には、図-5に示すよう
に、内部振動機挿入位置にスパイラル筋を配置
した。これは、対象とする構造物がアーチリブ
であるため配筋が斜めとなり内部振動機を差し
込むためのガイドが必要となったためである。
一般の施工を想定したスランプ8cmの場合には
スパイラル筋を除いたものとした。

スランプ8cmについては、はじめ $\phi 50mm$ の
内部振動機で締め固めてから内部振動機を ϕ

表-2 ワーカビリティ保持時間と打重ね許容時間間隔

高性能 AE 種類	練置 温度 (平均) (°C)	ワーカビ リティ保 持時間 (hr)	許容打重 ね時間 間隔 (hr)	許容打重 ね時間 間隔/ 保持時間	凝結 始発 時間 (hr)	凝結 始発 時間/ 保持時間
R2	28.9	1.9	3.9	2.05	4.6	2.42
R3	26.8	2.8	5.5	1.96	6.6	2.36
平均	—	—	—	2.0	—	2.4

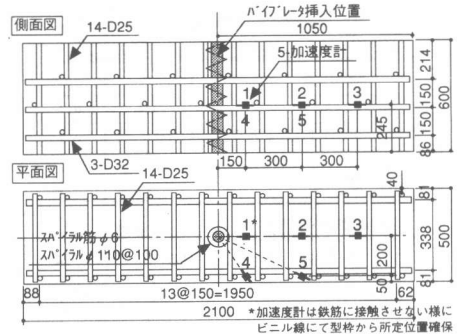


図-5 試験体の形状寸法と加速度計の設置位置

表-3 打込んだコンクリートの性質

配合種別	P2-2(H)	A1-3
スランプ(cm)	21.1	9.0
スランプフロー(mm)	331	—
空気量(%)	4.4	4.5
コンクリート温度(°C)	27.0	26.0

表-4 試験条件(振動締め実験)

実験ケース	1	2	3		
配合種別	A1-3	P2-2(H)	P2-2(H)		
スランプ	8cm	21cm	21cm		
スパイラル筋使用	無	有	有		
初期加振	内部振動機	$\phi 50mm$	$\phi 50mm$		
	振動時間	180秒	90秒		
再加振	内部振動機	$\phi 40mm$	$\phi 50mm$		
	振動時間	50秒	20秒		
振動機	出力	電圧	電流	振動数rpm	振動数(径x長)
$\phi 50mm$	400W	48V	9.0A	約13200	52x400mm
$\phi 40mm$	250W	48V	5.5A	約13200	43x350mm
$\phi 30mm$	130W	48V	3.5A	約13200	31x405mm

40mmに換えて再度締め固めた。スランプ21cm
については初期 $\phi 50mm$ →再振動 $\phi 30mm$ の場
合と初期 $\phi 40mm$ →再振動 $\phi 50mm$ の場合の2ケ
ースを行なった。

各締め固めケースでの再加振時間による加速度の
変化を図-6に、加速度の最大値と定常値を図-7
に示す。定常値は図-6にハッチングして示した
時間領域の測定値を平均したものである。

図-6によれば、スランプ8cmでは加振位置近
傍の加速度は加振初期から非常に大きく、これ

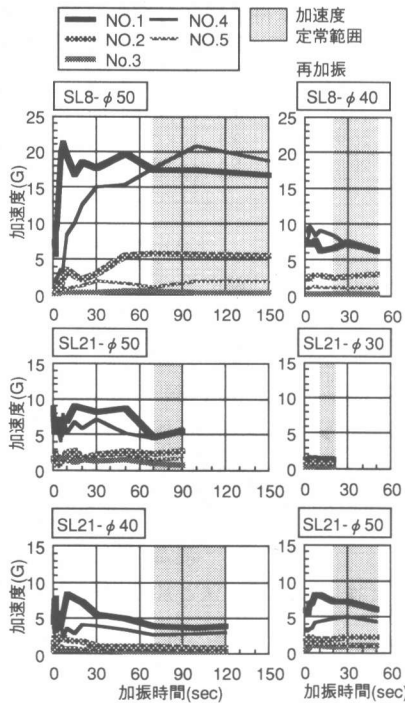


図-6 締めによる加速度の時間変化

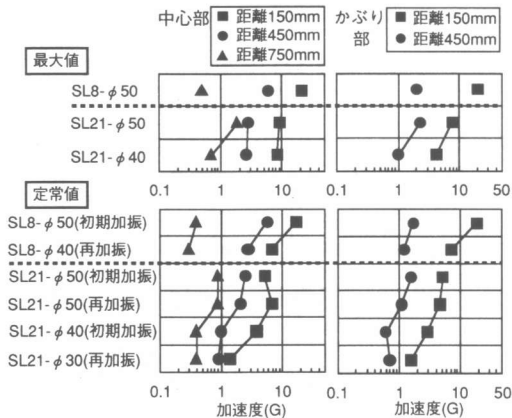


図-7 加速度の最大値と定常値の比較

以外の部位では時間の経過とともに加速度が徐々に大きくなる傾向があるのに対して、スランプ21cmでは加振時間10～20秒で加速度が最大となり、以降は加速度が減少し定常化する傾向にある。また、図-7から、加振位置近傍ではスランプ8cmはスランプ21cmに比べて非常に大きい加速度を示すが、加振位置から離れることで逆にスランプ21cmの加速度がスランプ8cmのそれより大きくなる傾向も認められた。

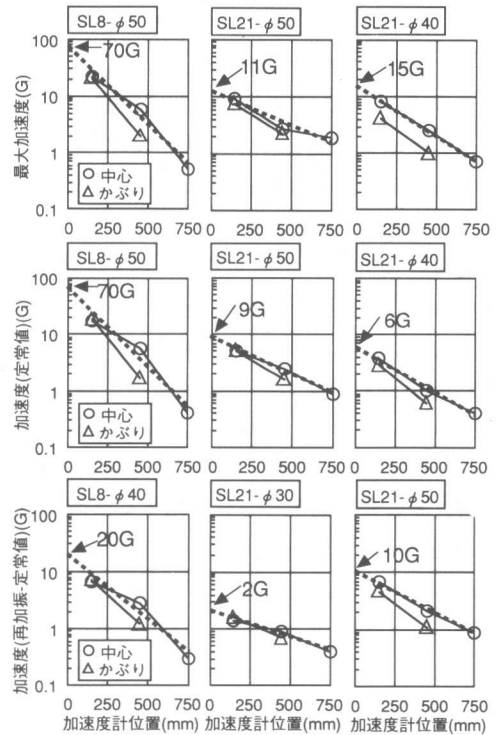
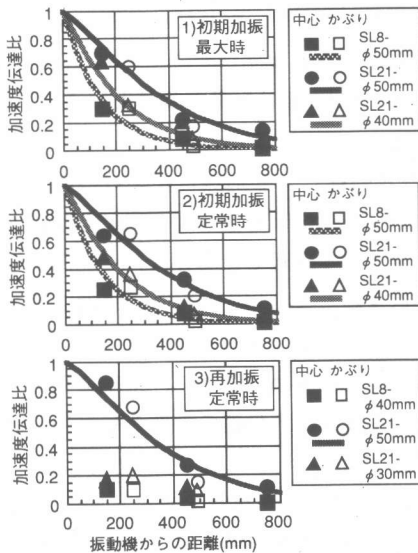


図-8 加振位置からの距離による加速度の変化

同じスランプどうして内部振動機の径が加速度に及ぼす影響をみると、再加振での状態も含めて、当然のことながら、径の大きい内部振動機を使用したほうが加速度が大きい傾向にある。

図-8に示すように加振位置からの距離と加速度の関係を加速度軸を対数軸として表現した場合、この関係はおおむね直線で近似される。この直線の加振位置における切片から、内部振動機によって加振位置のコンクリートに発生している加速度が推定される。この加速度は、内部振動機の種類よりもスランプの大きさにより大きい影響を受け、スランプ8cmの場合には最大加速度・定常加速度（初期加振）ともに70G程度、スランプ21cmの場合には最大時が平均で13G程度、定常時（初期加振）が平均で8G程度と推定された。加速度の伝播程度をコンクリートの種類によらず相対的に評価するためには、締め位置の加速度を基準とする必要がある。

締め位置での加速度の大きさがコンクリートの種類により固有であると仮定した時の、加



SL8-φ50mm : $R_{ac} = \exp(-6.90 \times 10^{-3} \times L^{1.0})$ 1),2)のデータを近似
 SL21-φ50mm : $R_{ac} = \exp(-0.44 \times 10^{-3} \times L^{1.3})$ 1),2),3)のデータを近似
 SL21-φ40mm : $R_{ac} = \exp(-2.70 \times 10^{-3} \times L^{1.1})$ 1),2)のデータを近似
 R_{ac} : 加速度伝達比, L : 振動機からの距離(mm)

図-9 加振位置からの距離による加速度伝達変化

振位置からの距離と加速度伝達比（実測加速度／加振位置での推定加速度と定義する）との関係を図-9に示す。加速度の伝播状態を加速度伝達比として評価することによって、初期加振の最大加速度・定常加速度および再加振時の定常加速度のいずれについても、加振位置からの距離による加速度の伝播状態を、同一の指数関数曲線により表すことができた。

加速度伝達比から判断すると、スランプ21cmの高性能AE減水剤コンクリートをφ50mmまたはφ40mmの内部振動機で締め固めることで、スランプ8cmの普通コンクリートをφ50mmの振動機で締め固める以上の締め固め作用を得ることができる。

コンクリート標準示方書においては、一般のコンクリートの内部振動機の振動有効範囲の直径を50cm以下(半径25cm以下)としている²⁾ので、これを本実験においてスランプ8cmをφ50mmの内部振動機で締め固める場合と想定すれば、同等な締め固め効果を得る内部振動機の挿入間隔を、スランプ21cmの高性能AE減水剤コンクリートをφ40mmで締め固める場合には70cm

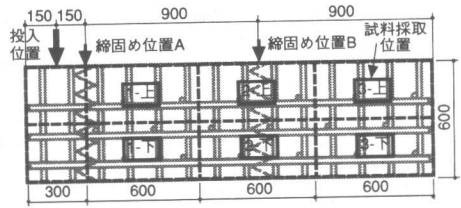


図-10 試験体の打込み方法と測定位置

表-5 試験条件(打込み実験)

打込方法	打設層	締め固め順序(加振位置)	締め固め時間(秒)	投入時天端高(投入側)	締め固め後天端高(投入側)
層打ち	1	A→B→A→B	4@10	260	105
	2	A→B→A→B	4@10	370	200
	3	A→B→A→B	4@10	480	310
	4	A→B→A→B	4@10	580	415
	5	A→B→A→B	4@10	600	500
内部振動機かけ方			10秒で上下動1往復		
1回打ち	1	A→B	2@20	690	605
内部振動機かけ方			20秒で上下動2往復		
内部振動機種類: φ50mm					

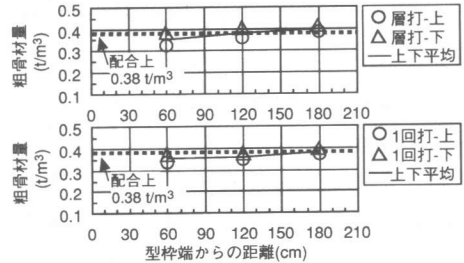


図-11 粗骨材量の分布状態

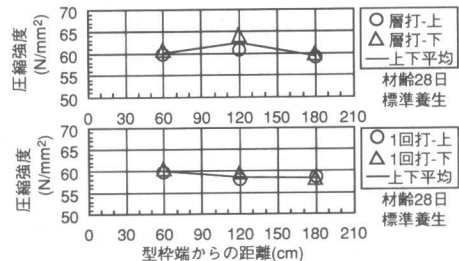


図-12 圧縮強度の分布状態

(半径35cm)以下に、φ50mmで締め固める場合には110cm(半径55cm)以下にすれば良いことが推察される。

6. 打込み実験

スランプ21cmの高性能AE減水剤コンクリートは流動性大きいことから、打込み・締め固めの過程で、ある程度のコンクリートの横移動をとまうことが考えられた。ここでは、図-10

に示すように振動締固め実験に用いたのと同じ型枠・配筋の模型に端部から、アジテータトラックのシュートによってコンクリートを打ち込み、A,Bの2か所で内部振動機を作用させた場合の、コンクリートの均質性の変化を評価した。

打ち込み方法は表-5に示すように層打ちと1回打ちの2種類とした。すなわち、層打ちはこまめな締固めによって常に型枠内のコンクリートがレベルになるように内部振動機で横移動させる方法、1回打ちは締固め作用によらず自重自体でコンクリートを横移動させ、その後締め固めて型枠内を充実させる方法である。1回打ちの場合は、図-10に示す型枠のコンクリート打ち込み側を嵩上げてコンクリートを打込んだ。

図-11および図-12には、これらの打ち込み方法により充てんした型枠内の6か所から採取したフレッシュコンクリート試料の粗骨材量およびこの試料を用いて成型した供試体の圧縮強度の測定結果を示した。

流動させた先の方向において若干ではあるが粗骨材の量が多くなっている傾向はあるもののその差はわずかであり、圧縮強度の測定結果とも合わせて評価すれば、この程度の横移動によってもコンクリートの均質性は満足されていると判断された。この配合の材料分離抵抗性が確認されたものである。

7. 結論

長大アーチ橋のアーチリブ部材の施工方法の検討を目的として、設計基準強度 50N/mm^2 ・スランプ21cmの高性能AE減水剤を使用した早強コンクリートを対象としたワーカビリティ保持性能確認実験・振動締固め実験・打ち込み実験を行なった。その結果以下が明らかとなった。

- 1) ポリカルボン酸エーテル系の主成分にスランプ保持成分として配向ポリマー成分と遅延成分を配合した高性能AE減水剤を使用することで、夏場においても3時間程度のワーカビリティ保持を可能とすることができる。
- 2) スランプフローが310mmまで小さくなる時

間をワーカビリティ保持時間とした場合、許容打重ね時間間隔はワーカビリティ保持時間のおおよそ2倍、凝結始発時間はおおよそ2.4倍が見込める。

3) 内部振動機による加振位置からの距離とコンクリートに作用する加速度の関係を加速度軸を対数軸として表現した場合に、この関係は直線で近似され、この切片となる加速度を基準として加速度伝達比（実測加速度/加振位置での推定加速度）を求めることで、加振位置からの距離による加速度の伝播の程度を相対的に評価できる。

4) 加速度伝達比から判断すると、スランプ21cmの高性能AE減水剤を使用したコンクリートを $\phi 50\text{mm}$ または $\phi 40\text{mm}$ の内部振動機で締め固めることで、スランプ8cmの普通コンクリートを $\phi 50\text{mm}$ の振動機で締め固めること以上の締固め効果がある。

5) 一般のコンクリートでの内部振動機の振動有効範囲の直径を50cm以下とした場合、スランプ21cmの高性能AE減水剤を使用したコンクリートの振動有効範囲は、 $\phi 40\text{mm}$ の振動機を使用する場合で70cm以下、 $\phi 50\text{mm}$ の振動機を使用する場合で110cm以下で同等の締固め効果となることが推察される。

6) スランプ21cmの高性能AE減水剤を使用したコンクリートを、こまめな締固めによって常に型枠内のコンクリートがレベルになるように内部振動機で横移動させる打ち込み方法あるいは自重自体でコンクリートを横移動させて充てんし締め固める打ち込み方法のいずれの方法でも、2m程度の横移動であればコンクリートの均質性は十分満足される。

謝辞 実験の実施に際しては(株)スルガおよびボゾリス物産(株)の皆様が多大な協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート構造物のコーラドジョイント問題と対策，2000.7
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書[平成11年版]，2000.1