

耐振動性に優れた高流動コンクリート

列車振動に対する検証

牧三喜夫

MAKI Mikio

正会員 JR東海 建設工事事務 次長

永尾拓洋

NAGAO Takuhiro

正会員 JR東海 建設工事事務 土木工事課（現：鉄道総合技術研究所出向）

コンクリートは、養生期間中に予想される振動などの有害な作用から保護する必要がある。しかし、鉄道工事は限られた空間の中、しかも列車を運行させながらの施工を余儀なくされるケースが非常に多く、この列車振動の影響を十分考慮して施工しな

ければならない。今回、このように鉄道工事でニーズが高い、耐振動性に優れた高流動コンクリートを開発し、実際の現場に適用することで、列車振動に対する検証を行ったので紹介する。

振動に強いコンクリートのニーズ

鉄道工事では、列車を運行させながら施工する場合が非常に多く、列車による振動の影響を考慮しコンクリートの養生を行わなければならない。例えば、連続立体交差における高架橋の分割施工時の2期施工や、橋梁のかさ上工事などのケースである。このように、鉄道工事において振動に強いコンクリートのニーズは非常に高く、今回その開発を試みた。

高流動コンクリートへの影響

作業条件による制約、SRC 構造物の採用など、鉄道の分野においても、自己充填性を有する高流動コンクリートを使用するケースが増えてきている。

列車振動がコンクリートの品質に与える影響について調査した文献¹⁾によれば、最大加速度 200 ~ 600 gal、変位 0.05 ~ 1.0 mm の振動条件下では、コンクリートと鋼材の付着やコンクリートの圧縮強度に影響は認められなかったとされている。しかし、振動を与えなくても充填性に富む高流動コンクリートが、振動を受けた場合、材料分離や硬化性状などに与える影響は未知な部分が多い。特に、高流動コンクリートは粉体量、すなわちモルタル分が多く、また凝結時間が長くなる傾向にあり、その分だけ凝結過程において長い間振動を受けることになる。

耐振動性の高流動コンクリートの開発

配合の留意点

耐振動性に優れた高流動コンクリートの配合を計画するにあたり、コストパフォーマンスも含め、次の点に留意した。

凝結時間はできるだけ短くする

打設後のコンクリートは完全に硬化する前に、列車に

表-1 耐振動性の高流動コンクリートの配合表

単位量 (kg/m ³)						
水 W	結合材 P		細骨材 S	粗骨材 G	混和材	
	MBF	EX			AD	BP
165	470	30	824	791	1.85%	0.5

MBF：フライアッシュ混入中庸熱高炉セメント
EX：膨張材（石灰系）
AD：高性能AE減水剤（ポリカルボン酸エーテル系）
BP：分離低減剤（グルコース系天然高分子多糖類）

よる振動を受ける。そのため、凝結時間が極端に長いものは、振動の影響をより長く受けることになり、不適当と判断した。

クラック抑制の観点から、膨張材を添加する

粉体量の多い高流動コンクリートは、水和反応による温度上昇量とその後の降下量が大きくなるだけでなく、自己収縮量も大きくなるため、クラックが生じやすい。そのため、収縮補償として膨張材を添加した配合を基本とした。

スランプフローは 65 ± 5 cm とする（写真-1）

鉄道工事の場合、桁高が低いあるいは上部の空間が狭いなど、十分なヘッド圧をかけることが困難なケースが多い。60 cm を下回ると自己流動するためのエネルギーが小さすぎて流動性が悪くなる。また 70 cm を越すと流動性は良いが、流動距離が長くなるほど、骨材の



写真-1 フロー試験の状況

表-2 振動条件

<ul style="list-style-type: none"> ■ 実橋データに基づいた振動条件 (3ケース) 振動数 20Hz, 片振幅 1mm 振動数 20Hz, 片振幅 1/3mm 振動数 35Hz, 片振幅 1/3mm ■ 振動期間 継続時間 3日 (一部 7日), 振動時間の割合 40秒/5分 40秒: 貨物列車に対応 5分: 東海道本線ピーク時の列車運転間隔



高流動コンクリート (膨張材有り) 普通コンクリート
写真-2 加振開始数時間後のブリージング発生状況

沈下が生じてくる。この材料分離の問題を解消するため、配合上、より多くの粉体量を必要とする。なお、分離低減を目的として混和剤の添加も行っている。

スランプフロー保持時間を 90 分以上とする
コンクリートの打設はもとより、配管を切り換える時間、交通事情による生コン車の遅れ、ポンプ圧送による流動性のロスなどを考慮する必要がある。

配合試験

配合試験は、ビーライトやポゾランなどを主体としたタイプと、エーライトと石灰石微粉末を主体としたタイプを種々行った。このうち高性能 AE 減水剤との相性が非常に良く、添加量を比較的抑えることで普通コンクリート並の約 7 時間の凝結時間を可能にした、フライアッシュ混入中庸熱高炉セメントを基本配合に選定した。今回使用した耐振動性に優れた高流動コンクリートは、表 1 に示すように、基本配合に膨張材を混和している。

列車振動に対する検証 (振動試験)

振動試験の概要

試験は、高流動コンクリートの硬化性状・分離抵抗性について行った。

加振した試験体の基本的な圧縮、曲げ、鉄筋付着の各強度を測定しているが、高流動コンクリートと普通コンクリートは強度自体が違うため、振動の影響については加振した試験体と静置した試験体の強度比により比較している。

振動条件の設定

条件は、実際に高流動コンクリートを適用する橋桁に生じる列車振動とした。

表-3 圧縮強度試験結果 (材齢 3日)

配合種別		高流動コンクリート (膨張材無)	高流動コンクリート (膨張材有)	普通コンクリート
圧縮強度 N/mm ²	静置 (振動無)	16.5	19.7	19.6
	加振 (振動有)	15.0	23.0	21.3
	加振/静置	0.91	1.17	1.09

表-4 曲げ強度試験結果 (材齢 3日)

配合種別		高流動コンクリート (膨張材無)	高流動コンクリート (膨張材有)	普通コンクリート
曲げ強度 N/mm ²	静置 (振動無)	3.60	3.69	3.78
	加振 (振動有)	2.82	3.86	4.20
	加振/静置	0.78	1.05	1.11

表-5 付着強度試験結果 (材齢 3日)

配合種別		高流動コンクリート (膨張材無)	高流動コンクリート (膨張材有)	普通コンクリート
付着強度 N/mm ²	静置 (振動無)	2.51	2.42	2.83
	加振 (振動有)	4.60	7.23	5.52
	加振/静置	1.83	2.99	1.95

※すべり量が 0.002D における値、D: 鉄筋径

架設する橋桁に生じる列車振動の予測方法として、別の橋梁の列車振動波形を測定し、架設する橋桁を模擬したバネ-マスモデルに入力し、応答値を算出構造系を梁モデルとし、列車荷重 (EA-17) を載荷、架設する橋桁に生じるたわみを算出という 2 つの手法を用いた。

解析結果より決定した条件を表 2 に示す。なお、振動数 20 Hz, 片振幅 1/3 mm は、普通コンクリートで検証した既往の文献とほぼ同レベルである²⁾。

高流動コンクリートと普通コンクリートの比較

試験結果を表 3 ~ 5 に示す。振動条件は、既往の文献より厳しい振動数 20 Hz, 片振幅 1 mm である。膨張材無しの高流動コンクリートが、わずかが圧縮強度および曲げ強度が低下したのを除き、加振した試験体の強度はいずれも増加している。普通コンクリートの強度増加は、元々骨材量が多いため、振動による骨材の噛み合わせ効果に起因していると推察される。しかし、普通コンクリートでは加振した試験体を観察すると上部に白色の析出物が泡状に発生しており、明らかにレイタンスが認められた。さらに鉄筋の付着強度試験体を観察すると、

鉄筋下面にブリーディングによる水膜の跡が存在した。一方、高流動コンクリートではレイトランスの発生等は認められない(写真-2)。

膨張材の影響

膨張材の混和の有無により、比較検討を行った。膨張材無の高流動コンクリートは、普通コンクリートと同等の約7時間の凝結時間であるが、膨張材有のタイプでは、約14時間と凝結遅延を起こしている。その分凝結過程において長い間振動を受けているにもか

かわらず、膨張材を混和したタイプは、全ての強度試験で振動による強度増加が認められた。

今回の試験体の製作では、上面を蓋などで覆わず、コンクリートの上面膨張は拘束していないため、通常であれば膨張材による強度増加は認められない。そこで、各配合のフレッシュコンクリートを5mmふるいによりウェットスクリーニングし、レオロジー特性を外筒回転式回転粘度計により調べることにした。結果を図-1に示すが、膨張材を混和したタイプは塑性粘度が10.93 Pa・sであり、混和していない6.58 Pa・sの約1.7倍であることがわかった。このことから、膨張材の混和により振動に対する材料分離抵抗性が増加したものと推察される。

適用事例

工事概要

今回、配合計画した耐振動性に優れた高流動コンクリートは、名古屋駅に位置する清正公架道橋の橋梁改築工事に実際に適用している(写真-3)。

本工事では、新橋梁の本桁に2径間連続上路SRC桁(H形鋼埋込桁)を採用しているが、狭隘かつ線路上からの締固め作業が困難なことから、自己充填性を有する高流動コンクリートを必要とする。

ここで、日常の列車運行に支障となることなく、旧橋梁を取り壊しながら新橋梁を再構築するため、工事桁

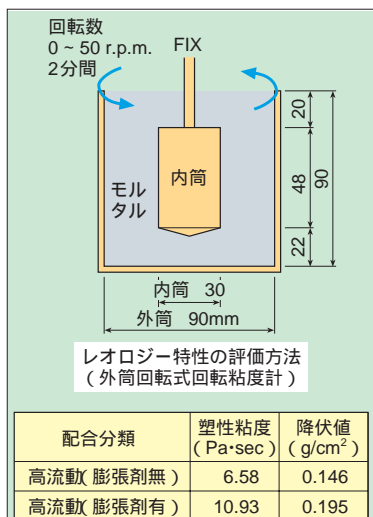


図-1 レオロジー特性



写真-3 清正公架道橋



写真-4 高流動コンクリートの打設状況



写真-5 試験施工(確認試験)



写真-6 補強桁の切断面

(仮設桁)工法を採用しているが³⁾、架設工法の制約上、H形鋼埋込桁の養生中のコンクリートは、列車による振動の影響を受けることになる(写真-4)。

試験施工による安全性の確認

本施工前に、旧橋梁の補強桁にこの高流動コンクリートを使用し、耐振動性および自己充填性の確認試験を行った(写真-5)。約1年半、列車荷重を支えた後、旧橋梁を取り壊した際に切断面を確認したが、充填状況は非常に良好であり、クラック等も全く無かった(写真-6)。強度についても、設計基準強度27 N/mm²に対し、70 N/mm²と十分に上回っている。

今後の展望と課題

振動試験ならびに適用事例から、この高流動コンクリートの安全性と、振動に対する優れた性能を確認できたと考えられる。その結果、今回の振動試験の範囲内であれば、この高流動コンクリートで列車を運行させながら鉄道工事ができることが明らかになった。ただし、設計・施工上、打継ぎ目が生じるケースやRC部材の鉄筋のみが振動するケースなどでは、さらなる検証が必要である。

参考文献

- 1 - 波田野他：橋梁高上工事に伴う養生中のコンクリートに及ぼす列車振動の影響に関する実験，鉄高組技報，No.8，pp.68-69
- 2 - 山本他：養生中に断続振動をうけるコンクリートの諸性質について，セメント・コンクリート，No.287，pp.30-38，1986.12
- 3 - 池見 拓：鉄路を支える工事桁の夜間架設 - JR清正公架道橋改築工事 - ，土木学会誌，Vol.83，pp.2-5，1998.9