

フライアッシュと膨張材を併用した 連続鉄筋コンクリート舗装の各種耐久性評価

日本大学工学部 ○前島拓, 何宗耀, 相内豪太, 岩城一郎
(株) NIPPO 総合技術部 吉田雅義, 村岡克明, 藤谷雅嘉

1. はじめに

積雪寒冷地で供用される連続鉄筋コンクリート舗装(CRCP)は、初期に生じたひび割れから凍結防止剤混じりの水が浸入することで内部鋼材が腐食するケースが報告されている¹⁾。そのため、凍結防止剤散布下で CRCP を活用するには、膨張材(Ex)によりひび割れ幅を適切に制御するとともに、フライアッシュ(FA)などをコンクリートに混和して遮塩性の向上を含めた高耐久化を図る必要があるが、わが国では FA と Ex を併用した CRCP の施工実績はなく、適切な配合やひび割れリスクの評価が成されていない。そこで本研究では、FA と Ex を併用した高耐久 CRCP の開発を目的とし、1) FA の置換方法をパラメータとした供試体を作製し、各種耐久性を評価するとともに適切な配合を選定した。次に、FA コンクリート舗装の施工性およびひび割れリスクを評価するため、2)日本大学工学部構内において各種混和材を併用した実物大 CRCP を施工し、舗装版内のひずみ挙動をモニタリングした。さらに、3)実物大 CRCP を再現した解析モデルを構築し、3次元有限要素解析(解析ツール：JCMAC3-U)により CRCP のひび割れリスクについて解析的に検討した。

2. 実験概要および結果と考察

表-1 に検討配合を示す。ここでは、FA の置換率および置換方法をパラメータとした供試体を用いた各種耐久性試験結果の一部を示す。配合は、1)水セメント比 45%を基準とした配合(N)、2)N に対しIV種相当 FA をセメントの質量に対して外割で 20%置換した配合(FA200)、3)FA をセメントの質量に対して外割で 15%、内割で 5%置換した配合(FA1505I) の計 3 条件である。図-1 に曲げ強度試験結果を示す。材齢 7 日時点で全配合において設計基準曲げ強度 4.4MPa を満足し、特に FA1505I では長期の強度増進が示された。また、40℃恒温槽で供試体上面に 20%NaCl 溶液を湛水させた塩分浸透試験(図-2)より、FA を混和した配合は塩分浸透を抑制する結果であった。以上より、FA1505I は、N および FA200 と比べて初期強度が高い上に長期強度増進が確認され、塩分浸透抵抗性も向上する結果であった。そこで、FA をセメントの質量に対し外割 15%、内割 5% で置換した配合を最適配合として、実物大に近い CRCP を施工することとした。

表-1 検討配合

ID	W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					混和剤(C×%)	
				W	C	FA	S	G	AE減水剤	AE助剤
N	45.0	45.0	40.0	160	356	-	721	1102	0.4	0.004
FA200	45.0	37.5		356	71	683	1044	0.6	0.030	
FA1505I	47.3	39.1		338	71	689	1053	0.6	0.020	

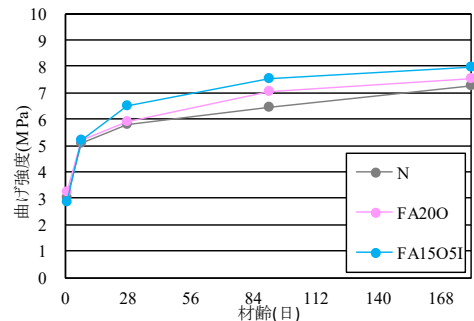


図-1 曲げ強度試験結果

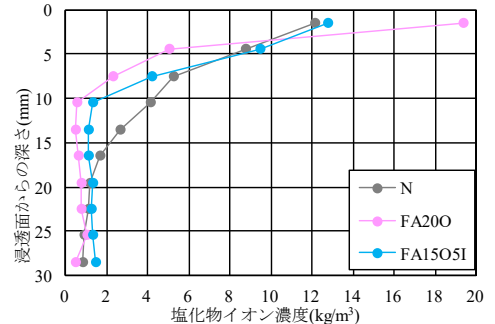


図-2 塩分浸透試験結果



図-3 舗装構成

表-2 CRCP の示方配合

ID	W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					混和剤(%)		
				W	C	FA	Ex	S	G	AE減水剤	AE助剤
N	40.1	40.1	34.3	162	404	-	602	1193	C×1.05	C×0.003	
FA+Ex	42.2	34.9	34.3	162	384	81	20	570	1129	B×1.00	B×0.015

図-3にCRCPの舗装構成を示す。CRCP版は長さ40000mm、幅3500mm、厚さ250mmであり、CRCP版下にはアスファルト中間層およびセメント安定処理路盤を構築した。また、CRCP版内には埋込型ひずみ計および鉄筋ゲージを設置した。施工方法はスリップフォームペーパーを用いたセットフォーム工法とし、コンクリート舗装工後は7日間の散水養生を行った。表-2にコンクリートの配合を示す。本試験では水セメント比40.1%を基準とし、1)一般的な舗装配合(N)、2)Nに対しⅡ種相当のFAをセメントの質量に対して外割で15%、内割で5%置換し、初期ひび割れを抑制することを目的に膨張材を20kg/m³添加した配合(FA+Ex)の計2条件とした。なお、本施工においてはいずれの配合もスリップフォームペーパーによって施工可能であり、施工上の問題はなかったことを確認した。ここで、各配合の材齢28日における曲げ強度はNで5.8N/mm²、FA+Exで6.4N/mm²であった。図-3に解析モデル、表-3に解析に用いた各種物性を示す。なお、拘束条件についてはCRCP版・路盤および路床の露出面を無拘束、路床の底面およびモデルの対称面を単純支持とした。図-4に材齢91日までの温度とひずみの実測値、図-5に解析結果を示す。CRCP版中央における最大温度はNで35.7℃、FA+Exで41.6℃であり、水結合材比の低いFA+Exで顕著な温度上昇が見られた。ひずみの推移は、Nでは全方向でひずみが収縮する傾向であったのに対して、FA+Exでは打設直後からコンクリートが膨張する傾向を示し、特に鉄筋による拘束がほとんどないY、Z方向ではその傾向が顕著であった。また、FA+Exでは材齢91日時点においても、若干の収縮ひずみが生じている程度であり、Nと比して収縮量は明らかに小さく、Exの混和によりひび割れリスクが低減する結果であった。温度応力解析(図-5)においても実測値と解析値の大きな乖離が見られず、本解析モデルを用いることにより実際のCRCP版の膨張収縮挙動も再現し得ることが確認された。

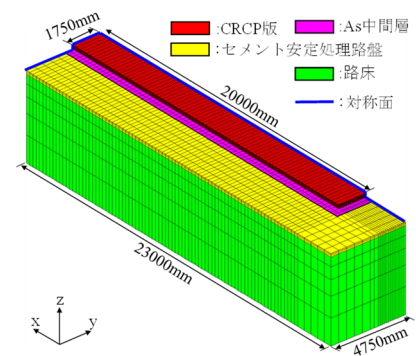


図-3 解析モデル(1/4モデル)

表-3 材料物性(解析)

	CRCP版	As中間層	セメント安定処理路盤	路床
密度(kg/m ³)	2400	2350	2400	1800
熱伝導率(W/m°C)	2.70	1.30	1.70	1.00
比熱(kj/kg°C)	1.15	0.92	1.20	2.60
線膨張係数(μ/°C)	N/FA:10 BB:12	30	10	10
ヤング係数(MPa)	-	5000	3000	120
ポアソン比	0.20	0.35	0.20	0.35

図-4に材齢91日までの温度とひずみの実測値、図-5に解析結果を示す。CRCP版中央における最大温度はNで35.7℃、FA+Exで41.6℃であり、水結合材比の低いFA+Exで顕著な温度上昇が見られた。ひずみの推移は、Nでは全方向でひずみが収縮する傾向であったのに対して、FA+Exでは打設直後からコンクリートが膨張する傾向を示し、特に鉄筋による拘束がほとんどないY、Z方向ではその傾向が顕著であった。また、FA+Exでは材齢91日時点においても、若干の収縮ひずみが生じている程度であり、Nと比して収縮量は明らかに小さく、

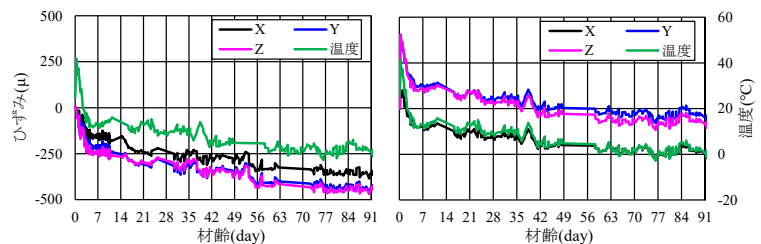


図-4 CRCP版中央における実測値(左: N、右: FA+Ex)

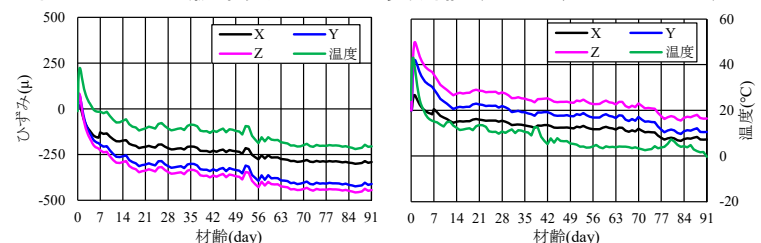


図-5 CRCP版中央における解析結果(左: N、右: FA+Ex)

Exの混和によりひび割れリスクが低減する結果であった。温度応力解析(図-5)においても実測値と解析値の大きな乖離が見られず、本解析モデルを用いることにより実際のCRCP版の膨張収縮挙動も再現し得ることが確認された。

3. まとめ

本研究により、FAとExを併用したコンクリート舗装は、一般的な舗装配合よりも耐久性が高いこと、ひび割れの拡幅を抑制し得ることを明らかとした。さらに、汎用性解析ツールによりCRCPの解析モデルを構築し、Exの影響等を含めたひび割れリスクを評価可能であることを示した。なお、本舗装は発表時には東北地方整備局管内の自動車専用道路で実装される予定である。

【謝辞】本研究は、国土交通省道路局が設置する新道路技術会議における技術研究開発制度により、国土交通省の委託研究「データ同化をベースとした高耐久フライアッシュコンクリート舗装についての技術研究開発」で行われたものです。

【参考文献】1)小池海, 佐藤勉, 大脇真也, 佐藤定夫, 西澤辰男: 積雪寒冷地域的高速道路における連続鉄筋コンクリート舗装の損傷実態と原因について, 土木学会論文集 E1(舗装工学), 75巻2号, pp. 123-131, 2019.