

水分子準平衡モデルに基づく大型RC-PC社会基盤構造の 長期動態予測

Long-Term Dynamic Simulation of Large-Scale RC-PC
Infrastructures Based on Quasi Thermo-hygral Modeling

前川 宏一 (MAEKAWA KOICHI)

東京大学・大学院工学系研究科・教授



研究の概要

コンクリートに代表されるセメント系無機多孔体中に捕捉される水分子の準平衡状態と、総運動量の変化を時空間軸で追跡する multi-scale 解析に基づき、日射-降雨-乾湿-外荷重の複合に曝される RC-PC 実構造の長期動態解析法を開発する。さらに、細孔空隙内の水分の熱力学的状態を変化させることで、大型構造物の変形を制御する方法を提案する。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学 ・ 土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：コンクリート構造、過剰たわみ、準平衡、クリープ、乾燥収縮

1. 研究開始当初の背景

建設以後 10 年以上経過した後に現れる大型 PC 箱型断面橋梁の過剰たわみ、浅地中構造の過剰変形とひび割れ、橋梁床版などの早期劣化の機構解明が、社会基盤の使用限界状態設計と維持管理の喫緊の課題となっている。構成材自体に劣化が無くとも、コンクリート中の微細空隙内の不均一な水分状態が巨視的な構造の動態を左右することが認識されるに到り、地盤や地下水との相互作用も相まって、既往の理論では説明のつかない構造動態が建設以後も継続することが問題となりつつある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、セメント系無機多孔体中に捕捉される水分子の準平衡状態と総運動量の変化を時空間軸で追跡する multi-scale 解析に基づき、日射-降雨-乾湿-外荷重の複合に曝される RC-PC 実構造の長期動態予測を実現することである。既往のクリープ・乾燥収縮値に基づく設計法と変形制御法の限界を超えて、新たな設計制御法の構築を図る。

3. 研究の方法

1) 低中応力域対象の Solidification 構成則と中高応力域の非線形構成則の統合、2) 中型 PC 上部構造模型、地中埋設型 RC カルバート模型の実環境動態計測と multi-scale 解析の検証・改良、3) 実構造の長期過剰変形計測と multi-scale 解析による主因特定及びクリー

プ設計法の抜本的な改正の提案、4) 実橋梁-実地下空間構造の過剰たわみ問題に対する熱力学的手法による制御方法の提案を通じて、研究目的の達成を試みるものである。

4. これまでの成果

1) Solidification 構成則は、ひび割れ発生前の、セメント硬化体形成途上の構成モデルとして開発された。これを高応力域（地震時）まで拡張し、ひび割れ以後の構成則に組み込んだ。これより、乾燥収縮や長期にわたる持続荷重下での巨視的な構造部材の動態が非線形領域まで予測可能となった。

2) 上記の開発により、ひび割れを設計で許容しない大型 PC 橋梁の長期たわみの推定、自己収縮・乾燥収縮を強く受ける RC 部材のせん断耐力の低減、及び中高応力域での遅れせん断破壊を追跡可能とした。ここで、雨水降雪日射を直接、受ける部材上部の準平衡水分量に設けた仮説を検証するために、中規模中空 PC 桁を茨城県柿岡境域研究施設に建設し、微細空隙内の水分状態と構造部材の巨視的な動態の同時計測を開始した。計測開始後 1 年半を経て、これまで大型橋梁の長期動態解析に用いてきた仮定がほぼ妥当であったことを確認できた。

3) 上記項目の解析システムを用いて、地下構造物の中長期過剰変形と過剰ひび割れに対する原因究明に取り掛かった。現地踏破から特に損傷の顕著なサイトを数か所特定し、水分準平衡モデルに基づく数値解析を適用し



図1 柿岡教育研究施設での暴露試験

て、過剰変形と損傷の主因解明を進めている。地上構造物と異なり、地盤・地下水と接する構造表面と内空との湿度勾配みでは過剰変形を説明できないことを見出した。周辺地盤(埋戻し土)の沈下と、数値解析が可能となった項目 2)の遅れせん断破壊の両者も考慮することで、地下空間の過剰たわみの予測を可能とする見込みを得た。

遅れせん断破壊は実験室レベルで再現された事象であるが、実構造物レベルでの実態は不明である。非破壊・微破壊検査による現地での実証を得る準備を整えた。

4) 上記項目から、nm~ μ mの細孔空隙中の水分平衡とひび割れ間に捕捉される凝縮水の移動特性を連成して構造応答を求めることができた。力学場とひび割れ間の空隙体積が連成することも考慮し、アルカリ骨材反応生成物と鋼材腐食生成物の沈殿、固定、移動を統一的に取り扱える一般化も併せて行った。

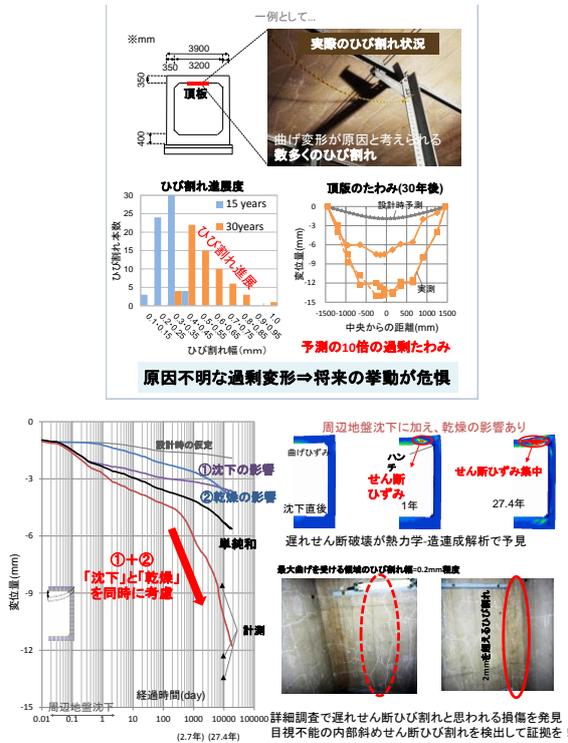


図2 地下洞道の過剰変位と遅れせん断破壊

5. 今後の計画

- 1) 中規模中空 PC 模擬橋梁を構成するコンクリート微細空隙中の水分分布と部材変形関係と季節変動調査から、水分伝達係数の特定と表面水分状態との関連を明らかにする。これまで実橋梁解析で仮定した上フランジの水分平衡モデルの検証を行う。
- 2) 地下洞道の解析と現地調査との照合からほぼ判明した遅れせん断破壊の再現実験を実施する。せん断破壊に至る寿命推定値の検証から、モデルの精度向上を図る。
- 3) 非破壊及び微破壊検査によって、構造物中に潜在する遅れせん断ひび割れの特定に努める。現地踏査と室内再現実験の両面から、水分子準平衡モデルに基づくインフラの長期動態予測法の適用範囲を把握し、これを考慮した耐久設計法の提案を行う。
- 4) ひび割れ中に浸潤するアルカリ骨材および鋼材腐食生成物を考慮した水分-構造応答解析へ展開を図る。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む) 学術雑誌

Multi-scale coupled hygro-mechanistic approach to the life cycle performance assessment of structural concrete, Maekawa, K., Ishida, T., Chijiwa, N. and Fujiyama, C., *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, 2014 (in print).

Pseudo-cracking approach to fatigue life assessment of RC bridge decks in service, Fujiyama, C., Tang, X. J., Maekawa, K. and An, X. H., *Journal of Advanced Concrete Technology*, 11, pp.7-21, 2013.

Rate-dependent model of structural concrete incorporating kinematics of ambient water subjected to high-cycle loads, Maekawa, K., Fujiyama, C., *Engineering Computations*, 30(6), pp.825-841, 2013.

Pseudo-cracking approach to fatigue life assessment of RC bridge decks in service, Fujiyama, C., Tang, X. J., Maekawa, K. and An, X. H. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 11, pp.7-21, 2013.

An investigation into the long-term excessive deflection of PC viaducts by using 3D multi-scale integrated analysis, Ohno, M., Chijiwa, N., Suryanto, B. and Maekawa, K. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 10, pp.47-58, 2012.

受賞等

Three outstanding papers of the year 2012: *Journal of Advanced Concrete Technology*

Three outstanding papers of the year 2013: *Journal of Advanced Concrete Technology*

平成 25 年日本コンクリート工学会賞論文賞