

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289131

研究課題名(和文) コンクリート構造物の高精度な長期供用性予測に資する環境作用評価システムの開発

研究課題名(英文) Development of evaluation system of environmental action for precise prediction of long-term serviceability of concrete structures

研究代表者

下村 匠 (Shimomura, Takumi)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40242002

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではコンクリート構造物への環境作用を評価、モデル化し、構造物中の物質移動解析、時間依存性変形解析の入力値を生成する一般的手法の確立に取り組んだ。実構造物の乾湿には気温、湿度の平均値のみならずその経時変化、ならびに降雨、日射の影響が大きいことを実測により明らかにし、日射の影響を考慮するための温度と水分移動の連成解析法、降雨の影響を考慮するための乾湿繰り返しパターンのモデル化を考案した。気象庁より提供されている構造物の近い位置におけるAMeDASの気象データを利用し、今後建設する構造物の性状の長期予測法を開発した。これらの妥当性を実測と感度解析により検証した。

研究成果の概要(英文)：This study dealt with development of general procedure to generate input data for mass transport and time-dependent stress analysis of concrete structures based on evaluation and modeling of environmental attack on structures. It was experimentally clarified that drying and wetting behavior of actual concrete structure is affected by not only mean value of atmospheric temperature and humidity but also their time-dependent change and solar radiation and rainfall. Coupling analysis of heat and moisture was proposed to take into account the effect of solar radiation on moisture transfer adequately. Method of modeling of drying and wetting pattern was proposed to express effect of rainfall. Procedure of long term behavior of structures in the future using public meteorological data near the objective structure provided by Japan Meteorology Agency was developed. Their adequateness was verified by the conducted exposure test and sensitivity analysis.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：コンクリート構造物 環境作用 降雨 日射 乾湿繰り返し 毛細管吸水 乾燥収縮 クリーブ

1. 研究開始当初の背景

コンクリート構造物の耐久性および長期供用性には水分・塩分などのコンクリート中の物質移動、ならびに乾燥収縮・クリープを含め変動・持続荷重下におけるコンクリートの变形と応力の経時変化を評価する必要がある。近年の多くの研究者の努力の成果として、荷重環境条件が与えられた時の構造物の挙動を精度よく予測する技術は飛躍的に向上した。したがって、個別の実構造物の挙動を再現解析あるいは将来予測する際の精度は、当該構造物に実際に作用する荷重環境作用をいかに現実的に即して適切に与えるかどうかにより相対的に依存することとなった。しかし、構造物の応答解析法の開発に比べて、荷重環境作用の評価法、モデル化については十分な研究が行われていない現状にあった。

2. 研究の目的

(1) 任意の供用環境下に置かれた実構造物中の水分、塩分等の物質移動解析、コンクリートのクリープ収縮に起因した構造物の時間依存性変形・応力解析について、研究代表者のこれまでの研究成果を進展させ高精度な解析手法を確立する。

(2) 高度な解析法の特徴を十分に引き出すには、環境作用をどのように評価し、どのようにモデル化を行うべきかを明らかにし、一般化された環境作用モデル作成の流れを提案する。

(3) 塩害による劣化の作用因子として主要である構造物への飛来塩分、構造物表面の塩分の流れについて、これまでの研究成果に立脚し高度な解析手法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 屋外暴露によるコンクリートの乾湿試験と再現解析

水分と熱が一次元方向にのみ移動するコンクリート供試体を作製し、新潟県長岡市における屋外の屋根有と屋根無の2条件下で暴露試験を行い、水分量の経時変化を測定した。同時にウェザーメーターにより、周辺の温度、湿度、降雨の有無、日射量を測定した。また、新潟県柏崎市における実構造物中のコンクリートの深さ方向の湿度分布の経時変化を実測した。それらの実測結果より、実環境下に置かれた構造物中のコンクリートの乾湿挙動に及ぼす環境作用の影響を把握するとともに、それを再現解析する方法について検討した。

(2) 屋外暴露 RC/PC 試験体のたわみ試験と再現解析

小型の鉄筋コンクリートはりおよびプレテンションプレストレストコンクリートはり試験体を作製し、新潟県長岡市における屋外の屋根有と屋根無の2条件下で持続荷重しながら暴露試験を行い、曲率、たわみ、コンクリートひずみ、鉄筋応力の経時変化を測定した。(1)で開発した環境作用の考慮方法、コン

クリート中の水分移動解析法、および開発済みの乾燥収縮モデルを用いて実験結果の再現解析を行った。

(3) AMeDAS データを利用した構造物の含水状態の将来予測法の提案

構造物の位置における環境作用の実測データがない場合、および任意の場所に構造物を建設することを検討する場合に、将来における構造物の乾湿挙動、乾燥収縮、クリープ挙動を予測することができるように、インターネットを通じて提供されている全国の AMeDAS の気象観測網の気象データから対象構造物付近の気象データを取得して将来予測を行う方法を検討した。

(4) 飛来塩分の数値シミュレーションの高度化

研究分担者が開発した海から構造物への飛来塩分シミュレーション法を進展させ、長期的にコンクリート表面に到達する塩分を精度よく予測できるようにした。

(5) 構造物の表面における水分、塩分の移動現象の解明とその再現解析

凍結防止剤による塩害は構造物の表面を流れる水分に塩分が溶け込んで、桁端部や橋台橋脚に塩分が集中、濃縮することで進行する。これを数値解析により再現することを試みた。

4. 研究成果

(1) 屋外暴露によるコンクリートの乾湿試験と再現解析

屋外におかれたコンクリートは日射の影響によりコンクリート表面温度が気温より高くなることがある。その場合コンクリート表面近傍の相対湿度が低下し、コンクリートの乾燥が促進される。一方、気温が上昇した時にはコンクリート表面近傍の温度が気温よりも低くなることもある。その場合表面近傍の相対湿度が大気相対湿度よりも高くなり、コンクリートは湿潤傾向になる。さらにコンクリート表面近傍の相対湿度が見かけ上 100% を越えるとコンクリート表面に水分が凝縮し、コンクリートの湿潤が促進される。これらのいずれにもコンクリート表面の温度が重要な役割を果たしている(図1)。

したがって、屋外におかれたコンクリートの乾湿挙動を正確に予測するにはコンクリート表面温度を正しく知ることが必要である。実測値があればそれを用い、なければ、日射による熱エネルギーの流入を考慮したコンクリートの熱伝導解析を行うことでコンクリート表面温度を知ることができる(図2)。このようにして得られたコンクリートの表面温度から推定される表面近傍の相対湿度を用いてコンクリート中の水分移動解析を行うことと、降雨時間中のコンクリート表面からの吸水を考慮することで屋外の屋根有条件下においても屋根無条件下においてもコンクリートの乾湿挙動が精度よく再現解析できることを明らかにした。

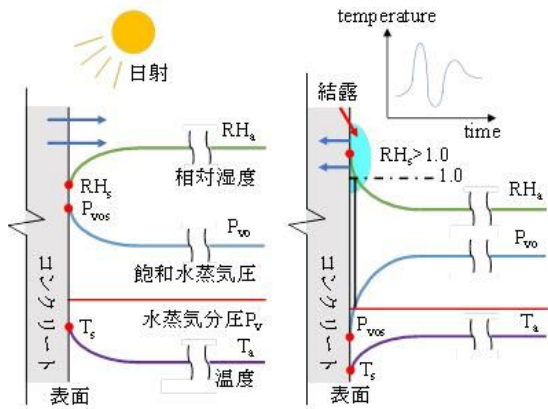


図1 コンクリート表面温度と表面近傍の相対湿度（左：日射による乾燥促進、右：気温の経時変化による結露）

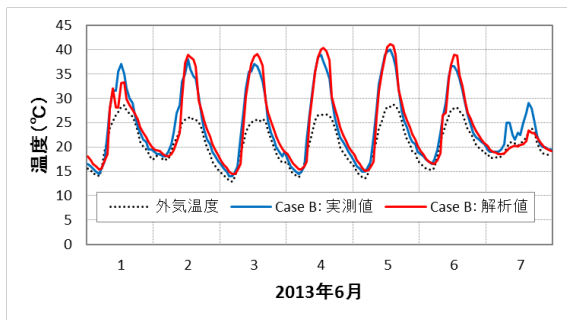


図2 コンクリート表面温度の実測結果と解析結果

(2) 屋外暴露 RC/PC 試験体のたわみ試験と再現解析

屋外におかれたコンクリートの収縮は屋根有条件下であっても、屋根無条件下であっても恒温恒湿室における収縮よりも小さいことを実験により確認した。(1)で開発したコンクリート中の水分移動解析法を乾燥収縮解析に応用することにより、屋外におかれたコンクリートの収縮挙動を再現することができた(図3)。

屋外において乾湿と持続荷重を受ける RC・PC はり部材のたわみの経時変化は、環境条件の違いによるコンクリートの収縮の違いの影響を受けることが実験により確認された。コンクリートの収縮、クリープ、鋼材による拘束を考慮した解析により実験結果を再現することができた。

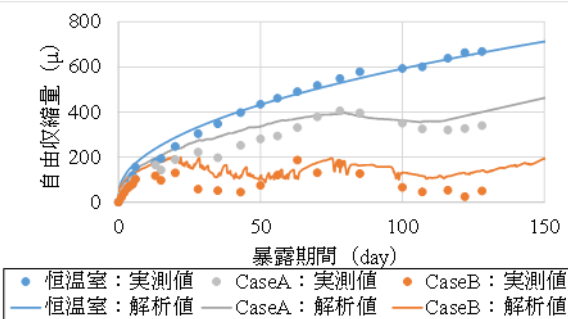


図3 屋外におかれたコンクリートの収縮

(3) AMeDAS データを利用した構造物の含水状態の将来予測法の提案

構造物中の含水状態の長期予測を行う場合、環境条件を変化させる時間単位として年間一定、季節単位、月単位、日単位と検討した結果、月単位とするのが精度を損なわず、簡便に与えることができる方法であることが判明した。インターネットを通じてダウンロードした対象構造物に最も近い位置での AMeDAS の気象データから気温、湿度、全天日射量は月の1日から末日までの同時刻のデータを平均し当該月の一日の一時間ごとのモデルデータを作成し、そのモデルデータが当該月の毎日繰り返されるとした(図4)。

気温の元データ

時間	1st January	2nd January	3rd January	30th January	31st January	平均
0	7.8	3.7	6.3	1.8	4.3	3.78
1	5.2	3.2	6.5	1.9	4.1	3.54
2	7.6	3.2	6.2	1.3	3.3	3.44
3	7.4	2.2	5.9	1.2	3.0	3.54
4	7.2	1.6	5.2	1.2	4.2	3.25
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
23	5.3	6.2	6.6	1.4	1.2	4.28

図4 気温、湿度、日射量のモデル化の方法

降雨に関しては、降水量よりも連続降雨時間の方がコンクリートの乾湿挙動に影響する。そこで一か月の降雨時間を合計し、それを各サイクルに含まれる降雨時間が1時間となるように当該月の乾湿繰り返しモデルを作成した(図5)。各サイクルに含まれる降雨時間の長さを1時間としたのは、長期予測の際の最小計算時間単位であること、感度解析の結果、降雨パターンを実測により与えた場合と等価な計算結果となることを確認したからである。

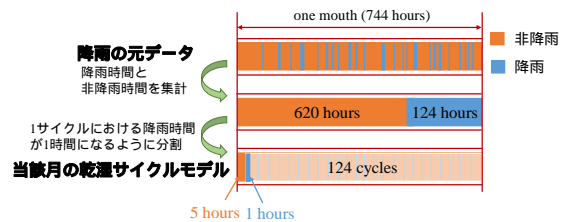


図5 降雨のモデル化の方法

(4) 飛来塩分の数値シミュレーションの高度化

実構造物における外部環境条件の時系列変化が塩分浸透量に与える影響について検討を行った。その結果、実構造物における塩分浸透量は到達塩分量と降雨による洗い流しの時系列的な影響を受けて変化していることが確認できた。さらに、外部環境条件として到達塩分量と降雨頻度を考慮した計算モデルの計算結果から、外部環境条件の時系列変化とコンクリート中の塩分浸透量の関

係について説明できることが示された。

(5) 構造物の表面における水分、塩分の移動現象の解明とその再現解析

構造物表面における水分の流動状況の特徴を概ね再現できる流動解析法を構築した。再現精度の向上には、支承などの障害物による流れの変化を適切に表現する必要があると考えられる。本解析法をコンクリート中の塩分浸透解析と組み合わせることにより、構造物中の漏水が見られた箇所における塩分浸透が再現できることが明らかとなった。構造物中の部位による塩分浸透量の違いを詳細に再現するためには、構造物表面を流れる水による塩分の分配、再分配をメカニズムに則り精密に表現する必要があると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計8件)

志賀 暢, 阿部哲雄, 渡部雅貴, 下村 匠: 屋外暴露されたRC・PC部材の時間依存性変形に及ぼす環境作用の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, 2016.7(査読有)(掲載予定)

中村文則, 下村 匠, 原田健二, 大原涼平: 外部環境条件の時系列変化を考慮した実構造物の塩分浸透量に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, 2016.7(査読有)(掲載予定)

原田健二, 佐藤駿介, 下村 匠: 塩分がコンクリートの乾湿挙動に及ぼす影響の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.745-750, 2015.7(査読有)

中村文則, 下村 匠, 生田麻実, 細山田得三: 数値シミュレーションを援用した構造物各部位の到達塩分量の予測手法, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.775-780, 2015.7(査読有)

原田健二, 下村 匠: コンクリート構造物の表面における塩分の移動と停留メカニズムの検討, 第23回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.477-480, 2014.10(査読有)

女屋賢人, 下村 匠, Thynn Thynn HTUT: 屋外一般環境下におけるコンクリート構造物中の含水状態の長期変動解析法の高精度化, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.760-765, 2014.7(査読有)

中村文則, 生田麻実, 下村 匠, 細山田得三: 飛来塩分が到達するコンクリートの表面塩分量に関する現地観測と数値解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.880-885, 2014.7(査読有)

原田健二, 佐藤駿介, 下村 匠: 構造物表面における水の流動に伴う塩分の輸送とコンクリート中への侵入に関する統合解析, コンクリート工学年次論文集,

Vol.36, No.1, pp.910-915, 2014.7(査読有)

〔学会発表〕(計8件)

Takumi Shimomura, Toru Shiga, and Tetsuo Abe: Field test and numerical simulation of long-term deflection of RC and PC beams, The 7th International Conference of Asian Concrete Federation, 30 Oct – 02 Nov, 2016, Hanoi (Vietnam), to be appeared.

T.Shimomura: Simulation of Long-Term Stress and Deflection of Concrete Structures Based on Precise Considerations of Environmental Action, the 10th International Conference on Mechanics and Physics of Creep, Shrinkage, and Durability of Concrete and Concrete Structures (CONCREEP 10), pp.1316-1323, 21-23 September, 2015, Wien (Austria)

T.Shimomura: Universal Moisture Transport Model in Concrete under Natural Environment, the 5th International Conference on Construction Materials (Conmat'15), CD-ROM, 16-21 August, 2015, Whistler (Canada)

K. Harada and T. Shimomura: Numerical Simulation of Spatial Distribution and Progress of Penetration of Chloride into Concrete Structure Due to De-icing Agent, the 4th International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS2014), CD-ROM, 19-21 November, 2014, 台北(台湾)

佐藤駿介, 原田健二, 下村 匠: コンクリート橋脚表面における排水管からの漏水痕の数値シミュレーション, 第32回土木学会新潟会研究調査発表会論文集, pp.322-325, 2014.11(新潟県新潟市)

原田健二, 下村 匠: 塩分による蒸気圧降下がコンクリートの乾湿挙動に及ぼす影響の検討, 土木学会第69回年次学術講演会講演概要集, V-433, pp.865-866, 2014.09(大阪府豊中市)

佐藤駿介, 原田健二, 下村 匠: 構造物表面における水の流れの数値シミュレーション, 第31回土木学会新潟会研究調査発表会論文集, pp.336-339, 2013.11(新潟県長岡市)

原田健二, 下村 匠: 構造物表面の水の移動とコンクリート中への塩分浸透の統合数値解析, 土木学会第68回年次学術講演会講演概要集, V-497, pp.993-994, 2013.09(千葉県習志野市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

下村 匠 (SHIMOMURA, Takumi)
長岡技術科学大学 工学部 教授
研究者番号：40242002

(2)研究分担者

田中泰司 (TANAKA, Yasushi)
東京大学 生産技術研究所 特任准教授
研究者番号：40377221

中村文則 (NAKAMURA, Fuminori)
長岡技術科学大学 工学部 助教
研究者番号：70707786

(3)連携研究者

なし