

令和 4 年 5 月 9 日現在

機関番号：30107

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15062

研究課題名（和文）凍害を受けた既設コンクリート構造物に対する耐力照査指標の提案

研究課題名（英文）An Indicator of Ultimate Strength Verification for Existing Concrete Structures Subjected to Frost Damage

研究代表者

金澤 健（Kanazawa, Takeru）

北海学園大学・工学部・講師

研究者番号：80823773

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、実構造物のコア供試体から取得した劣化深度に基づいて、凍害を受けた鉄筋コンクリート（RC）棒部材の曲げ・せん断耐力を解析的に算定可能な力学モデルを構築した。ここで解析的とは、実験結果の回帰式等を用いず、ほぼ手計算が可能という意味である。本力学モデルの妥当性は、北海道で実際に供用されたRC橋脚、および道路橋床版に対する耐力評価によって検証された。この成果により、凍害を受けた実構造物のコアを採取して相対動弾性係数の分布を把握することで、対策の要否等を簡易かつ定量的に把握することが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、凍害を受けた既設鉄筋コンクリート構造物に対して力学的合理性のある維持管理を行うための指標として、凍害による表面からの劣化深度を考慮可能な力学モデルを構築したものである。本研究の成果により、実構造物のコンクリートコアから得た情報を直接部材耐力に活かすことが可能となった。これにより、凍害に対して、無筋コンクリートの材料劣化に対する耐久性評価のみが行われてきた状況が改善しうると考えている。

研究成果の概要（英文）：A mechanical model was developed to analytically calculate the flexural and shear strength of reinforced concrete (RC) members subjected to freeze-damage based on the damage depth obtained from concrete cores sampled from actual structures. Here the analytical model means the hand calculation without using regression approach based on experimental results. The model validation was performed by an actual RC members, which faced the severe frost damage in Hokkaido. This study enables a simple and quantitative assessment regarding the remedial measures for such structures, by determining distribution of the relative dynamic modulus of elasticity of the sampled cores.

研究分野：コンクリート工学，構造力学

キーワード：鉄筋コンクリート部材 凍害 せん断耐力 曲げ耐力 極限解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

コンクリート工学は材料系と構造系の分野に分かれて発展してきたが、凍害に関する研究は、その多くが前者に属するものであった。したがって、土木学会コンクリート標準示方書においても、凍害を受けた鉄筋コンクリート(RC)部材の耐力照査方法は確立されておらず、無筋コンクリートの材料劣化に対応する指標(相対動弾性係数)が行われている。それゆえ、北海道のような積雪寒冷地で凍害によって既設構造物の力学性能が著しく損われた場合、最終的な対策の判断が経験のある技術者に委ねられることも多い。この問題の原因は、耐力に代表される力学性能に直接結びつく指標が確立されておらず、点検で取得可能な情報と、多様化する耐力評価手法とがうまく対応していないことにあると思われる。

現在、劣化した既設構造物に対する耐力評価手法は、外観のグレーディング、設計式、非線形有限要素解析の3つに大別される。グレーディングによる定量的な評価には限界があり、非劣化部材を前提とした設計式を改良するような試みも、式の力学的根拠や適用範囲が不明確な場合が多い。有限要素解析からは、部材内部の劣化分布を反映した荷重-変位関係が得られるものの、使用する構成則や得られた解の妥当性の吟味に高度な工学的判断が要求され、社会実装へのハードルは高い。

こうした研究開始当初の状況が、点検で容易に取得可能な情報に基づいた耐力照査指標を確立しようとする試みの動機となった。

2. 研究の目的

凍害を受けたRC部材の力学挙動が議論され始めたのは21世紀に入ってからであるが、凍害を受けたRCはりでは、表面からの劣化深度次第で設計時に想定していないせん断破壊を呈することが分かっていた。そこで、本研究は、この劣化深度を耐力照査指標として確立し、凍害を受けた既設コンクリート構造物に対する力学的合理性のある健全度評価を可能とすることを目的とした。

3. 研究の方法

RC部材の終局耐力を解析的に得る方法として、極限解析の上界定理に着目する。点検で得た劣化深度から劣化域を定義し、劣化域と非劣化域の内力仕事=外力仕事というつり合い式を解くことで、実験結果の回帰式等を用いない力学的合理性のある耐力評価を実現する。

4. 研究成果

凍害を受けたRC部材の耐力に関する実験的検討¹⁾、および極限解析を材料劣化が生じた部材に適用しようとした研究²⁾を対象としてレビュー論文を取りまとめた。また、実際の劣化分布を劣化域/非劣化域の2つに粗視化することで、上界定理で用いる仕事のつり合い式に凍害による劣化深度を取り入れることが可能な力学モデルを構築した^{3),4)}。さらに、この力学モデルを実験的に得られた複数の終局耐力と比較してその妥当性を検証するとともに、著しい凍害に直面している北海道のRC道路橋を対象に⁵⁾、点検で取得したコア供試体からせん断耐力を評価する過程を示した^{6),7)}。同様に、北海道で53年間供用された道路橋から切り出したRC床版⁸⁾に対して、曲げ耐力を評価する過程を示した^{9),10)}。

特に研究期間の後半においては、日本コンクリート工学会北海道支部において「極限解析による劣化RC部材の耐力評価に関する研究委員会」を立ち上げ、産・官の技術者と議論することで、容易な社会的実装をより意識した形で研究成果^{8), 9), 10)}を発表することができた。

- 1) 金澤健, 凍結融解作用を受けたRC梁・柱部材の力学挙動に関する海外の実験的研究, コンクリート工学, 57(10), pp.820-827, 2019.
- 2) 金澤健, 極限解析による材料劣化が生じた既設RC構造部材の終局耐力評価, コンクリート工学, 58(8), pp.612-619, 2020.
- 3) 金澤健, 成田達哉, 凍結融解作用を受けた鉄筋コンクリートはりのせん断耐力に関する一考察, 構造工学論文集 A, 66, pp.703-711, 2020.
- 4) Kanazawa, T. and Narita, T., Shear Strength of Reinforced Concrete Beams under Different Distributions of Frost Damage, In Proc. of 6th International Conference on Construction Materials (Conmat'20), pp. 1020-1031, 2020.
- 5) Kanazawa, T., Ushiwatari, Y., Sakoh, M. and Kawase, R., Structural effects of freeze-thaw depth on shear strength of an existing RC bridge pier, In Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Sustainability and Innovations, pp. 3799-3805, CRC Press, 2021.
- 6) 金澤健, 牛渡裕二, 凍害による劣化深度を考慮したRC橋脚のせん断解析モデル, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), 77(1), pp.15-24, 2021.
- 7) Kanazawa, T. and Ushiwatari, Y., Kinematic model for shear assessment of RC short

- columns subjected to frost damage, Journal of Advanced Concrete Technology, 19(4), pp.335-345, 2021.
- 8) 中村拓郎, 金澤健, 坂口淳一, 安中新太郎, 既設道路橋床版から切り出した RC はりの曲げ破壊挙動, コンクリート工学年次論文集, 43(2), pp.871-876, 2021.
 - 9) 金澤健, 中村拓郎, 坂口淳一, 川口和広, 凍害による劣化深度を考慮した RC 棒部材の曲げ解析モデル. 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), 77(4), pp.177-186, 2021.
 - 10) Kanazawa, T., Nakamura, T., Sakaguchi, J. and Kawaguchi, K., Flexural Analysis Combined with Freeze-thaw Depth for Reinforced Concrete Beams and Columns. Journal of Advanced Concrete Technology, 20(1), pp.18-29, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kanazawa Takeru, Nakamura Takuro, Sakaguchi Junichi, Kawaguchi Kazuhiro	4. 巻 20
2. 論文標題 Flexural Analysis Combined with Freeze-thaw Depth for Reinforced Concrete Beams and Columns	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 18 ~ 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3151/jact.20.18	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 KANAZAWA Takeru, NAKAMURA Takuro, SAKAGUCHI Junichi, KAWAGUCHI Kazuhiro	4. 巻 77
2. 論文標題 凍害による劣化深度を考慮したRC棒部材の曲げ解析モデル	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. E2 (Materials and Concrete Structures)	6. 最初と最後の頁 177 ~ 186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejmcs.77.4_177	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 KANAZAWA Takeru, USHIWATARI Yuji	4. 巻 77
2. 論文標題 凍害による劣化深度を考慮したRC橋脚のせん断解析モデル	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. E2 (Materials and Concrete Structures)	6. 最初と最後の頁 15 ~ 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejmcs.77.1_15	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kanazawa Takeru, Ushiwatari Yuji	4. 巻 19
2. 論文標題 Kinematic Model for Shear Assessment of RC Short Columns Subjected to Frost Damage	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 335 ~ 345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3151/jact.19.335	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 金澤 健、成田 達哉	4. 巻 66A
2. 論文標題 凍結融解作用を受けた鉄筋コンクリートはりのせん断耐力に関する一考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 構造工学論文集 A	6. 最初と最後の頁 703 ~ 711
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/structcivil.66A.703	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 金澤健	4. 巻 57
2. 論文標題 凍結融解作用を受けたRC梁・柱部材の力学挙動に関する海外の実験的研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学	6. 最初と最後の頁 820 ~ 827
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 金澤健	4. 巻 58
2. 論文標題 極限解析による材料劣化が生じた既設RC構造部材の終局耐力評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学	6. 最初と最後の頁 612 ~ 619
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 T. Kanazawa, Y. Ushiwatari, M. Sakoh and R. Kawase
2. 発表標題 Structural effects of freeze-thaw depth on shear strength of an existing RC bridge pier
3. 学会等名 Proc. of 10th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Kanazawa, Tatsuya Narita
2. 発表標題 Shear Strength of Reinforced Concrete Beams under Different Distributions of Frost Damage
3. 学会等名 Proceedings of 6th International Conference on Construction Materials (Conmat'20) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Kanazawa
2. 発表標題 Experimental Study on Mechanical Response of RC Beams Subjected to Freeze-thaw Action
3. 学会等名 Proceedings of BEI-2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関