

コンクリート橋の上部構造全体の安全性を評価した設計法の構築に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令 5～令 7

担当チーム：橋梁構造研究 G

研究担当者：松實崇博、吉田英二、
伊須田遼、桑野仁成

【要旨】

平成 29 年に改定された道路橋示方書（以下、道示）では、設計体系が許容応力度設計法から限界状態設計法へと移行した。この改定により、橋が置かれる状況と橋が留まるべき状態を対比し照査する体系となり、橋の性能や機能に基づいた合理的な設計が可能となった。

近年では、鋼・コンクリート複合構造等、構造の合理化を目的とした橋梁の適用事例も進むなかで、供用後比較的早期に損傷が確認されている事例もみられる。そのため、上部構造全体の安全性を評価するには、各部材が担う役割や機能を明確にし、それに応じた限界状態を設定することが重要である。特に、部材の一部が塑性化した後も、上部構造の機能が維持される範囲を評価するためには、部材の塑性化後の剛性低下や残留変位などの累積を把握し、限界状態 2 に対応する工学的指標を明確にすることが重要である。

そこで本研究では、コンクリート橋の上部構造を構成する鉄筋コンクリート部材（以下、RC 部材）を対象に、限界状態 2 の工学的指標を提案することを目的として実験的検討を行った。具体的には、活荷重を想定した 1 方向の曲げモーメントを受ける RC 部材に対して繰返し載荷実験を実施し、主鉄筋の降伏、剛性低下、残留変位などの累積に着目し、限界状態 2 に対応する状態を検討した（論文リスト a-1、a-2、b-1）。その結果、曲げモーメントを受ける RC 部材では、下段主鉄筋の降伏までは剛性の低下及び残留変位の増加が明確に現れることはなく、載荷および徐荷後の挙動には一定の可逆性及び再帰性が確認された。一方、鉄筋比によらず、すべての試験体において、上段主鉄筋の降伏以降で残留変位が急増することが確認された（論文リスト a-1、b-1）。このことから、一方向曲げを受ける RC 部材の限界状態 2 に対応する工学的指標としては、上段主鉄筋が降伏した状態、すなわち「断面内の全ての引張側鋼材が降伏強度に達した状態」として設定することが妥当であると考えられる。

令和 7 年に改定された道示では、設計状況や部材種別に関わらず、部材の一部が塑性化した場合であっても、残留変位が急増せず、橋の機能に影響を与えないような状態等が限界状態 2 として新たに定義された。本研究で得られた知見は、この考え方に対応する RC 部材の限界状態 2 の工学的指標として位置づけられるものであり、上部構造に用いられることを想定した RC 部材において、部材の一部の塑性化を許容した設計を行うための基礎資料となる。

さらに、上部構造の安全性を評価するうえでは、上部構造が立体的な構造系として荷重を支持し、断面形状の保持や部材間の相対変位を抑制する機能にも着目する必要がある。例えば、箱桁橋における隔壁は、断面変形を抑制し、断面形状を保持する役割を担う。隔壁が断面変形を拘束する場合、隔壁にはずり応力が生じる。そのため、隔壁については単なる構造細目として扱うのではなく、断面形状の保持機能を担う部材として評価する必要がある。本検討では、令和 7 年改定道示で示された立体的構造保持機能への配慮を踏まえ、隔壁に生じるずり応力が上部構造の立体挙動に及ぼす影響を評価するための簡易的手法を示した。

今後は、隔壁を含む各部材の機能を、上部構造全体として保持すべき性能と関連付け、部材単体の評価を上部構造全体の安全性評価へ接続するための手法を構築することが課題である。

キーワード：限界状態設計法、限界状態 2、RC 部材、残留変位、隔壁

RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF A DESIGN METHOD FOR EVALUATING THE OVERALL STRUCTURAL SAFETY OF CONCRETE BRIDGE SUPERSTRUCTURES

Research Period: FY2023-2025

Research Team: Bridge Structure Research Group

Author: MATSUMI Takahiro

YOSHIDA Eiji

ISUDA Ryo

KUWANO Jinsei

Abstract: In this study, to investigate the limit states of reinforced concrete (RC) members subjected to flexural moments, RC specimens with the main reinforcement arranged in the upper and lower layers were fabricated using three different types of reinforcement ratios, and one-directional two-point cyclic loading were conducted. As indicators representing the limit states of RC specimens subjected to flexural moments, the yielding of the lower main reinforcement corresponded to the limit state where the member's behavior possesses reversibility, and the yielding of the upper main reinforcement corresponded to the limit state that does not lead to a rapid increase in residual displacement of the member. Furthermore, by ensuring the bond between the concrete and reinforcement and the anchorage of the reinforcement ends, the design assumptions of the RC members were satisfied until the compressive concrete reached its ultimate strain of maintaining a sufficient safety margin before the loss of the load-carrying capacity.

Keywords: Limit state design methods, Limit state 2, Reinforced concrete member, Residual displacement.

論文リスト

● 学術誌等による成果普及

査読付論文・国内（計 2 本）

- a-1) 桑野仁成、吉田英二、中村英佑、千々和伸浩：曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート部材の限界状態に関する実験的検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.47、No.2、pp.241-246、2025
- a-2) 山下翔真、中村英佑、角本周：限界状態設計法による PRC2 主版桁橋の設計法の検討、第 34 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、Vol.34、pp.777-780、2025

査読付論文・海外（計 1 本）

- b-1) Jinsei Kuwano, Eiji Yoshida, Shoma Yamashita, Eisuke Nakamura, Nobuhiro Chijiwa: Study on the Limit State of RC Members Subjected to Flexural Moments, International Association for Bridge Maintenance and Safety IABMAS 2026, 2026 「アクセプト済み」