

劣化分布を考慮したRC梁のせん断耐力の解析的評価

神戸大学大学院 学生員 河合 優 神戸大学工学部 正 員 森川英典
阪神コンサルタンツ 正 員 山本剛司 横河ブリッジ 正 員 片山憲一

1. はじめに：著者らはこれまで既存RC橋における材料試験を行い、状況によりコンクリート強度が経年により低下（劣化）していること、またそのばらつきが非常に大きいことを明らかにしてきた¹⁾。さらに、これらの結果を用いた安全性評価により、劣化の著しい橋梁においてはせん断破壊が支配的となり、また通常の土木学会コンクリート標準示方書によるせん断耐力評価値（ただし、安全係数を考慮しない）をかなり下回ることを指摘した²⁾。これは、対象とした橋梁の劣化程度が示方書の評価式の適用範囲を逸脱していること、また設計時に仮定しているものに比べて非常に大きなコンクリート強度のばらつきの影響によるものと考えられる。そこで本研究では、コンクリートの強度劣化およびそのばらつきがRC梁の耐久性に与える影響を評価することを目的として、パターン化した部分劣化モデルを考慮したRC梁に対して2次元有限要素法解析および検証実験を実施した。

2. 劣化モデルのパターン化：劣化の分布特性を考慮したRC梁に対して実験・解析を行うにあたって、簡略化のために劣化モデルのパターン化を考えると、その概念を図1に示す。まず、実橋における劣化状態を表した劣化モデルを左上図とする。左上図は、施工当初のばらつきにコンクリートの経年劣化によるばらつきが加わった状態で、断面の平均強度を連続的な曲線で表している。次に、解析モデルにおける取り扱いを容易にするために、左上図の曲線を右上図に示すような等価なブロック波に置き換える。ここで、ばらつきの最低部である f_{cmin} に着目し、これを下図の部分劣化とみなしてその位置(x)、劣化の程度(f'_c)および劣化の幅(w)をパラメータと考え、部分劣化部以外の一様劣化部は梁全体の平均強度(f_c ：ベース強度と称する)を想定する。これらのパラメータを変化させ、各パラメータがせん断耐荷機構に及ぼす影響を調べることにする。

3. 解析モデル：図2に解析モデルを示す。主鉄筋要素とコンクリート要素はパネ要素を用いて結合している。また、部分劣化を想定する箇所はコンクリート強度を低下させ、図の斜線部のように導入する。

4. 実験および解析の精度検証：解析結果が実測値をどの程度追従するかを検証するために実験を行った。その内の1つのパターンについてのひび割れ状況を図3、図4に示す。図3で、支点付近において載荷点方向および外側方向に発生したひび割れや、せん断面中央付近でのひび割れが図4においても同じ位置で同じ方向に発生しており、破壊性状を精度良く表せているものと考えられる。次に、図5に実験および解析の荷重－変位曲線を示す。図において荷重と変位は降伏に

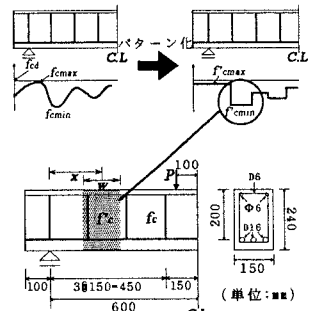


図1 パターン化劣化モデル

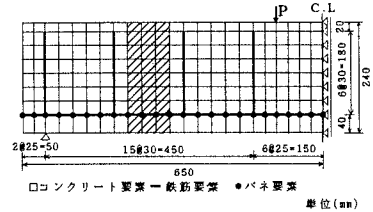


図2 解析モデル

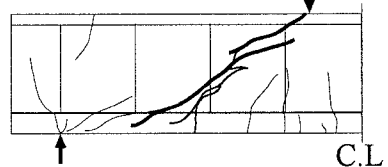


図3 実験の主要ひび割れ状況

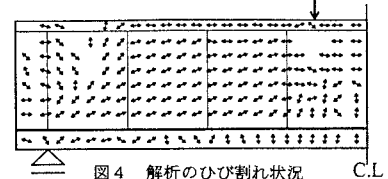


図4 解析のひび割れ状況

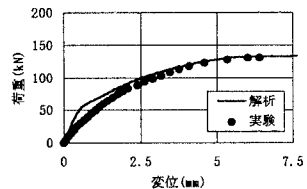


図5 荷重－変位曲線

Keyword: コンクリート強度, 劣化, せん断耐力, RC梁, 有限要素法, ばらつき

連絡先: 〒657 神戸市灘区六甲台町1-1 TEL 078-803-1040 FAX 078-803-1040

達する前から終局付近にかけてほぼ一致している。また、スターラップ降伏荷重は実験値の約90%を示しており、耐荷性状においても精度良く表現できていると考えられる。

5. 解析結果：劣化モデルをパターン化する際に想定したパラメータの組み合わせのうち、本論では特定の位置における劣化幅および劣化強度のせん断耐力に及ぼす影響について述べる。まず劣化位置を決定するために、劣化位置を変化させてパラメータ解析を行った結果を図6に示す。このときの劣化幅を90mm、ベース強度を14.7N/mm²、劣化強度を4.9N/mm²とした。解析結果によると、劣化位置が応力の集中する支付近及び載荷点付近の時に最もせん断耐力に影響を与えることが顕著に現れている。また、劣化位置がせん断スパンの中央位置($x=225$ mm)付近でスターラップ間隔の中央にあるときにも、周辺的位置よりせん断耐力が低い値を示しているのがわかる。そこで劣化位置を $x=225$ mmに固定したときの、劣化幅および劣化強度のせん断耐力に及ぼす影響について感度解析を行った結果を図7、図8に示す。

それぞれの劣化幅に対して劣化強度のせん断耐力に及ぼす影響は、ほぼ線形低下しているように見える。しかし、劣化程度が微小な段階ではほとんど影響がみられず、劣化がある程度進行するまでは劣化強度の影響はあまり見られない結果となった。また、それぞれの劣化強度に対して劣化幅のせん断耐力に及ぼす影響は、劣化のばらつきが小さい(劣化強度比($f = f'_c/f_c$)が大きい)場合には、ほぼ線形的な相関が認められるが、劣化のばらつきが大きい場合、劣化幅の小さい領域での感度が非常に大きく、非線形的な感度特性が認められる。つまり、パターン化した劣化の位置、幅、程度はせん断耐力に対して影響を及ぼし、またそれぞれ特有の感度を有することが明らかになった。したがって、これらの感度特性を利用すると、均一劣化の場合のせん断耐力評価からのシフト量を算定することが可能となり、劣化のばらつきが大きい場合に、危険側の評価を避けることが可能となる。例えば本論で述べたモデルの場合では、部分劣化により次のようなみかけの強度への置換によってせん断耐力の算出を行うことになる。

$$f_c = \{1 - 3.82(w/a)\}^{0.263(1-f)} f_{chase} \quad (5.1)$$

6. まとめ：今回行った感度解析から、各劣化パラメータはそれぞれ特有の感度をもってせん断耐力に影響を及ぼすことが確認できた。また、劣化位置に関する感度分析では、劣化部がスターラップ間中央に存在するときはせん断耐力の低下が大きく、スターラップと重なる位置に存在するときは低下量が小さいという結果を示した。この現象はスターラップ間隔によって影響を受けるものと思われ、劣化幅および劣化強度がせん断耐力に与える影響についても同様のことがいえる。このことから、劣化分布を考慮したRC梁のせん断耐力を検討するにあたっては、コンクリートとスターラップの相互作用を検討する必要があることが考えられる。そのためには今後、スターラップ間隔に関する感度解析などを行う必要がある。

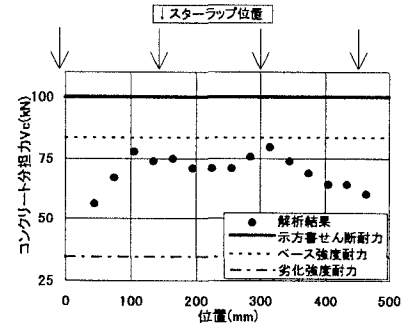


図6 劣化位置によるせん断耐力評価

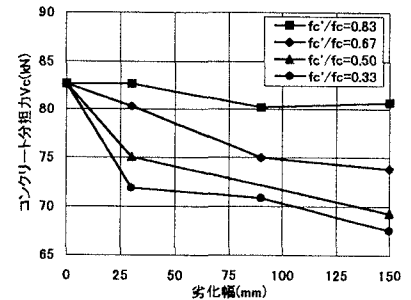


図7 各劣化強度に対する劣化幅の感度解析結果

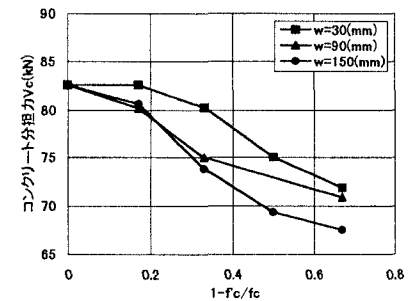


図8 各劣化幅に対する劣化強度の感度解析結果

【参考文献】1) 森川英典ら：既存コンクリート品質に関する統計的考察，土木学会第48回年次学術講演会講演概要集，V-93，pp. 212-213，1993. 9

2) 森川英典，宮本文穂，竹内和美：統計解析に基づく既存コンクリート橋の安全性および寿命評価，土木学会論文集，No. 502/V-25，pp. 53-62，1994. 11.