

# 論文 かぶりコンクリートの剥離と鉄筋座屈を考慮した中空断面 RC 橋脚の 3次元非線形 FEM 解析

増川 淳二<sup>\*1</sup>・須田 久美子<sup>\*2</sup>・前川 宏一<sup>\*3</sup>

**要旨：** 特に中空断面の RC 橋脚の変形性能を把握するためには、かぶりコンクリートの剥離と鉄筋座屈時期を精度良く予測することが重要である。そこで、横拘束筋の配筋方法による拘束特性の違い、塑性化による鉄筋の曲げ剛性の変化、部材曲率による初期変形、かぶりコンクリートの引張特性及び拘束特性などを考慮できるかぶりコンクリート剥離と鉄筋座屈時期判定モデルを提案した。この提案モデルを鉄筋コンクリート用有限要素法解析プログラム-COM3-に組み込み、中空断面 RC 橋脚模型の加力実験を解析した。その結果、これまで困難であった最大耐力以降の挙動についても、高い精度で解析できるようになった。

**キーワード：** 中空断面, RC 橋脚, かぶりコンクリート, 剥離, 座屈, 有限要素法

## 1. はじめに

今後建設が予定されている高速道路には、橋脚の高さが 30m 以上の高橋脚を有するコンクリート橋梁が多数含まれている。高橋脚では、地震時における橋脚自重による影響を軽減するために中空断面鉄筋コンクリート(以下、RC と略記)橋脚が採用されることが多い。中空断面 RC 橋脚では、図-1 に示すように、まず、圧縮フランジ外側のかぶりコンクリートが剥離後、鉄筋が座屈する。その後、断面内側のかぶりコンクリートが剥離し鉄筋が座屈すると、最終的には内部コンクリートが圧壊して耐力が著しく低下し、場合によっては作用軸力を保持できない

ことがある。したがって、中空断面 RC 部材の変形性能を把握するためには、断面内外におけるかぶりコンクリートの剥離と鉄筋座屈時期をそれぞれ正確に判定することが重要である。

本論文では、横拘束筋の配筋方法による拘束特性の違い、塑性化による鉄筋の曲げ剛性の変化、部材曲率による初期変形、かぶりコンクリートの引張特性及び拘束特性などを考慮できるかぶりコンクリート剥離と鉄筋座屈時期判定モデルを提案した。この提案モデルを鉄筋コンクリート用有限要素法 (FEM) 解析プログラム COM3<sup>1), 2), 3)</sup> に組み込み、中空断面 RC 橋脚模型の加力実験を解析した。

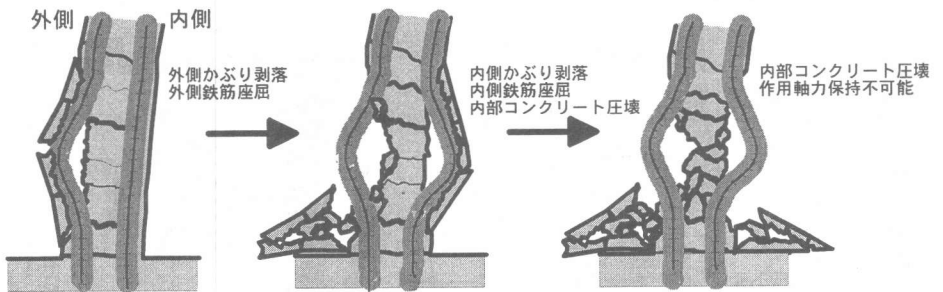


図-1 中空断面RC部材の圧縮フランジにおける破壊進行状況

\* 1 鹿島 技術研究所 第一研究部 研究員, 工修 (正会員)  
 \* 2 鹿島 技術研究所 第一研究部 主任研究員, 工博 (正会員)  
 \* 3 東京大学大学院教授 工学系研究科 社会基盤工学専攻, 工博 (正会員)

## 2. かぶりコンクリート剥離・鉄筋座屈解析モデル<sup>4)</sup>

ここでは、提案するモデルの概要のみを述べる。詳細は、参考文献4)を参照されたい。

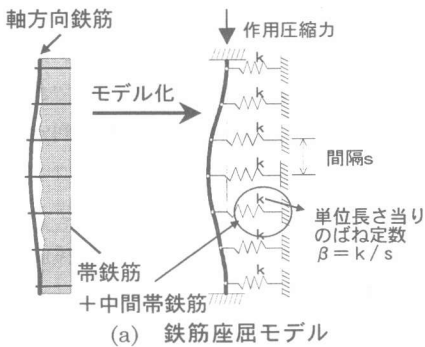
### 2.1 モデル化の概要

かぶりコンクリートの剥離及び鉄筋の座屈を解析するために、図-2に示すように、かぶりコンクリート、帯鉄筋、中間帯鉄筋をばねで置き換えてモデル化する。軸方向鉄筋は圧縮力を受ける両端固定梁とし、座屈変形は正弦曲線で近似する。かぶりコンクリートは変形に伴い引張応力が低下するばねとし、引張応力が0となる点を限界ひび割れ幅と規定する。帯鉄筋のばね定数 $k$ は、図-3のように帯鉄筋と中間帯鉄筋を梁及びばねでモデル化して算出する。

このモデルに弾性座屈理論を適用することにより、鉄筋の座屈長さ $L$ が次式のように表せる。

$$L = 4.4\sqrt{EI/\beta} \quad (1)$$

( $E$ :鉄筋の見かけの剛性,  $I$ :鉄筋の断面2次モーメント,  $\beta = k/s$ ,  $s$ :帯鉄筋間隔)



式(1)より、鉄筋の曲げ剛性が小さいほど、帯鉄筋による拘束が強いほど座屈長さ $L$ が短くなるのがわかる。圧縮時の鉄筋の見かけの剛性は、塑性化した鉄筋の軟化の影響を考慮するため、鉄筋の応力-ひずみ履歴曲線において、鉄筋応力が引張から圧縮になるときに応力ゼロになる点と、その時点での応力-ひずみ点を結んだ割線勾配として求める(図-2参照)。この方法による座屈長さの計算値は、過去の実験と非常に整合性が良いことが確認されている<sup>4), 5)</sup>。

### 2.2 かぶりコンクリート剥離判定モデル

かぶりコンクリートの剥離は、鉄筋の座屈変形によって外側に押し出されることにより生じる。そこで、図-4に示すように、曲率を持った鉄筋に圧縮力 $P$ が作用することによって生じる微小な座屈変形を考慮し、かぶりコンクリートがあり初期変形を有する鉄筋の座屈に対する安定性判定式を Timoshenko のエネルギー法により誘導し、剥離を判定した。

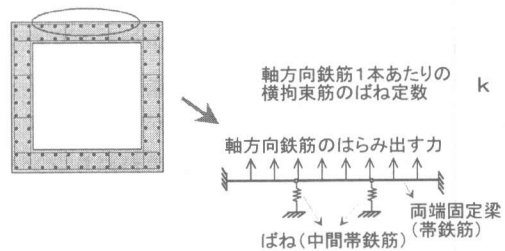


図-3 横拘束筋のモデル

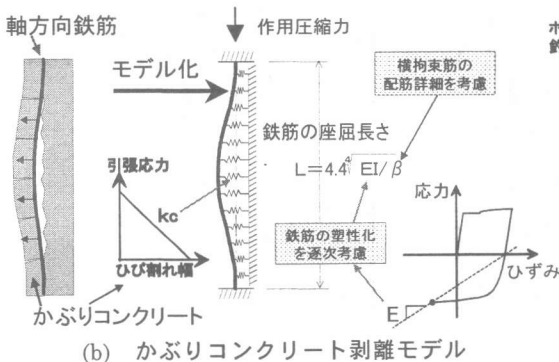


図-2 モデル化概念図

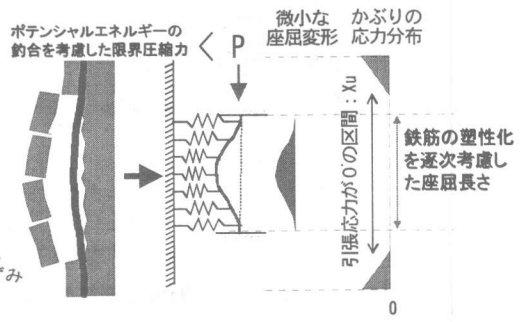


図-4 かぶりコンクリート剥離判定方法