

# 論文 ねじりと曲げ/せん断力を交番载荷した RC 柱部材の応答解析

土屋智史\*<sup>1</sup>・市川衡\*<sup>2</sup>・前川宏一\*<sup>3</sup>

**要旨**：偏心軸力と曲げ/せん断力およびねじりモーメントを作用させた実験結果を対象として、非線形 3 次元立体解析を実施し、その精度と適用範囲について検討を行った。対象構造物を特定しない 3 次元立体解析手法は、現時点では計算に要する時間から実用的なレベルには到達していないものの、非線形挙動を精度良く追跡できる状況に達しつつあることを確認した。実務的な立場から自由度を縮退した解析手法との比較検討も行い、設計業務における構造解析手法の活用と連携について考察を行った。

**キーワード**：非線形 3 次元立体解析, RC 柱, 交番ねじり, 交番曲げ/せん断, 偏心軸力

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の非線形構造解析手法は、安全性・使用性の照査を行う有益な手段の 1 つである<sup>1)</sup>。特に、任意の载荷経路を考慮した材料モデルに基づく構造解析手法は、材料レベルでの経時変化を考慮する枠組みを構築することも可能であり、今後ますますの研究成果が期待されている。一般に、解析次元・自由度等を大きくし、忠実に非線形挙動のモデル化を行えば、より詳細な情報を多く得ることができるが、計算時間が飛躍的に増大する場合が多い。逆に簡略なモデル化を行えば、容易に計算を行うことができるものの、解析可能な対象が限定され、得られる情報も限られたものとなる。

あらゆる事象について、任意の载荷経路および载荷速度を考慮した 3 次元立体解析を実施することが本来望まれる姿である。しかし、計算機環境や構造解析レベルの現状を鑑みて、これを当面次期世代の解析手法と捉えることとし、現時点においては実務的判断に基づき、何らかの簡略化を行い目的用途に応じて適宜選択することが実用的である。この時、用いる解析手法と対象構造物に応じて、適切な安全係数を設定することが実務技術者に求められる。

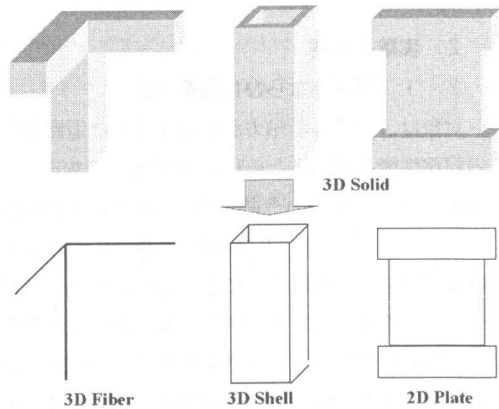


図-1 自由度を縮退した解析モデル

次世代型の 3 次元立体解析を基本とし、自由度を縮退する簡略化の方法として、図-1 に示す 3 つが考えられる。すなわち、平面 2 次元解析・積層 3 次元（シェル）解析・線材 3 次元（ファイバー）解析の 3 つである。この場合、面部材にはシェル解析を適用し、線部材にはファイバー解析を適用するのが良い。平面 2 次元解析は、構造形状を任意に設定できるものの、3 次元効果を考慮することができない。

本研究では、これまでに述べた解析手法の現状

\*1 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤工学専攻 工修（正会員）

\*2 首都高速道路公団 東東京管理局保安全管理課 工修（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）

を念頭に置き、RC 柱の実験<sup>2)</sup>をモデルとした 3 次元立体解析を行った。この実験は、偏心軸力と曲げ/せん断力、およびねじりモーメントの相互作用下における RC 柱の耐震性能を確認するために行われたものである。解析対象としてこの実験を選択したのは、多軸応力下におかれる部材で検証が不十分なこと、各種解析手法の適用範囲の確認作業に最適であると考えたからである。すなわち、次世代型の解析手法と定義した 3 次元立体解析の現状レベルの把握と課題点の抽出が第一の目的である。第二の眼目は、ねじりを加えない実験ケースに対する、自由度を縮退した線材 3 次元解析<sup>3)</sup>による結果との精度と適用範囲についての比較検証を行うことである。

## 2. 実験の概要

### 2.1 試験体ならびに載荷方法

対象は、常時偏心軸力が作用する RC 道路橋脚の耐震性能を調べるために行った実験である<sup>2)</sup>。着眼点は、偏心軸力と曲げ/せん断力およびねじりモーメントが複合的に作用する場合の耐震性能の確認であり、残留変位に与える偏心軸力の影響について考慮したものである。偏心軸力によるモーメントと直交方向に水平荷重を交番に加えている点に、この実験の独自性がある。試験体は、橋軸直角方向の張り出し部を想定した RC 橋脚をおよそ 1/5 スケールで縮小した柱モデルであり、寸法ならびに柱の断面諸元は図-2 に示す通りである。供試体作成にあたっては、鉄筋の定着やコンクリートの充填等を考慮した上で、できる限り断面寸法比を実橋脚レベルに近づけることに努めた。使用した材料特性は、表-1 に示す通りである。

実験供試体は No.1~No.3 まで 3 体作成し、交番ねじりと常時偏心軸力をパラメーターとして、表-2 に示すような組み合わせにより、交番曲げ/せん断力を載荷させた。No.1 では、鉛直荷重 245kN を柱図心位置に作用させるが、No.2 と No.3 では常時偏心軸力として、柱図心位置から 70cm の位置に 147kN 加えている。また、供試体 No.1 と No.2 における交番ねじりと曲げ/せん断力の載荷方法は、図-3 に示す通りである。すなわち、水平変

位原点位置において強制変位によりねじり(+方向)を加え、それを保持したまま  $+n\delta y$  を経て原点まで戻し、今度は逆方向にねじり(-方向)を加え、 $-n\delta y$  を経て原点まで戻す作業を繰り返す方法を採用した。ねじり量は、それぞれ No.1 で  $\pm 2.5\text{mm}$  ( $1\delta y$  のみ  $\pm 1.6\text{mm}$ )、No.2 で  $\pm 15.0\text{mm}$  とした。

### 2.2 実験結果

3つの試験体の実験結果を図-4~図-10に示す。

No.1 については、水平載荷方向の荷重-変位関係(図-4)と、水平載荷方向のねじり(載荷点の反力の差)-変位関係(図-5)を示した。水平載荷方向においては、柱試験体が十分なせん断補強筋を有していることから、ねじりひび割れ発生モーメントを付加していても高靱性な挙動を示し、斜めひび割れの進展に伴う急激な耐力低下は見られなかった。ただし、大変位領域では若干のピンチ効果がみられた。

当初導入されたねじりによる反力は、主たる変形成分である曲げ変形が増大するにつれて、消散していく様子が確認された。3~4 $\delta y$  以降、1/10 程度以下にまで減少している(図-5)。また、5 $\delta y$  付近から曲げ圧縮を受ける側のかぶりコンクリートの剥落が始まり、8 $\delta y$  から鉄筋の破断が起これ、9 $\delta y$  で載荷を終了した。

No.2 については、No.1 と同様の結果(図-6, 7)に加え、偏心モーメント方向変位-水平載荷方向変位関係(図-8)を示し、No.3 では、水平載荷方向の荷重-変位関係(図-9)と、偏心モーメント方向変位-水平載荷方向変位関係(図-10)を示した。水平載荷方向においては、No.2, 3 とともに、高靱性型の挙動を示し、優れたエネルギー吸収能力を保持していた。ピンチ効果はみられなかった。ただし、No.2 では No.3 に比べ 2 割程度の曲げ耐力の減少が見られた。ねじり降伏モーメントを加えていることに由来すると考えられる。ねじりによる反力は、No.1 同様曲げ変形が増大するにつれて、消散していく様子が確認された。(図-7)

一方、水平載荷と直交する方向においては、ねじりの有無にかかわらず、この方向に変形が蓄積して行く現象が確認され、しかもその変形量は加