

- 8 構造特性の不確定性を考慮した RC 有壁ラーメンの応力・変形解析 Stress and Deformation Analyses of RC Frames with Shear Walls Considering Uncertainty of Their Structural Properties

(研究期間 平成 13 年度)

国際地震工学センター

International Institute of Seismology and Earthquake Engineering

小豆畑達哉

Tatsuya AZUHATA

Synopsis – Recently, the introduction of the performance based design becomes the most important issue in the building structural engineering. When we evaluate performance of structures based on the performance based design concept, we must consider uncertainty of their structural properties. As for RC frames with shear walls, lots of uncertainty is included in shear cracking strength of walls, pile vertical springs supporting walls and so on. Thus, in the present situations, structural engineers analyze their stress and deformation using stiffness decreasing ratio of shear walls, which is derived from their experimental judgment. Under the above mentioned situation, it is strongly required to develop structural analysis methods which can evaluate the effect of the uncertainty of structural properties. This study aims to investigate the structural uncertainty of RC frame with shear walls and estimation method of their structural performance.

【研究目的及び経過】

近年、構造分野においては性能設計の導入が重要な課題となっているが、性能設計の主旨に沿い構造物の性能を明確化することを考える時、構造特性の不確定性の問題は避けることができないものとなる。耐力壁の組み込まれた RC フレーム (RC 有壁ラーメン) に限ってみても耐力壁パネルのひび割れや耐力壁の浮き上等、不確定要因が多分に含まれるため、その変形・応力解析に当たっては、耐力壁部分の剛性に剛性低下率を適用する等、構造設計者の工学的判断に左右される部分が多くなっているのが現実である。

このような背景の下、構造特性の不確定性をより合理的に評価できる応力・変形解析手法が必要になっていると考え、対象を RC 有壁ラーメンに限定した上で、こうした解析手法を検討することを目的とする。

以上の検討として、図 1 に示すような構造モデルを念頭に、まず、これらを構成する構造要素のばらつきについて、次に、構造要素のばらつきを考慮に入れた構造解析手法について調査を行なった。

【研究内容】

研究内容は以下のとおりであった。

- (1) RC 部材、基礎バネ等の構造特性値の変動幅に関する調査
- (2) 構造特性のばらつきを考慮に入れた解析手法の調査

【研究結果】

- (1) RC 部材、基礎バネ等の構造特性値の変動幅に関する調査

RC 部材、基礎バネ等の構造特性値の変動幅に関し、文献調査を行なった。総じて、RC 部分の剛性 (剛性低下率)、耐力 (曲げ、せん断、付着、接合部せん断) 及び曲げ変形限界角の変動係数は、10% ~ 20% 程度である。これに対し、基礎杭の支持剛性、及び、支持耐力の変動係数は 30% 程度となる場合がある。RC 有壁ラーメンの解析では耐力壁の脚部に鉛直バネをつけて行なうことが通常であるが、この部分のバネのばらつきをいかに合理的に評価するかが大きな課題になると考えられる。

- (2) 構造特性のばらつきを考慮に入れた解析手法の調査
構造特性のばらつきを考慮に入れた解析手法の調査を行い、RC 有壁ラーメンを対象とした場合の今後の課題を整理した。

図 1 に示すような骨組みについて、ある外力に対する応答を求め、各接点の変位ベクトル v が得られたとする。ここで、材料、外力及び幾何学的特性の不確定性を考慮すると、変位ベクトル v は確率変数の関数として次のように表される。

$$v = v[b^{(m)}, b^{(l)}, b^{(g)}] \quad (1)$$

ここに、 $b^{(m)}$: 材料特性に関する確率変数、 $b^{(l)}$: 外力に関する確率変数、 $b^{(g)}$: 幾何学的特性に関する確率変数

ここで、(1) 式を、ある任意の値に関し、以下の通りテーラー 1 次展開を行う。

$$v \approx v[b^{(m)}, b^{(l)}, b^{(g)}] + \left[\frac{\partial v}{\partial b^{(m)}} \right]_k^T \Delta b_k^{(m)} + \left[\frac{\partial v}{\partial b^{(l)}} \right]_k^T \Delta b_k^{(l)} + \left[\frac{\partial v}{\partial b^{(g)}} \right]_k^T \Delta b_k^{(g)} \quad (2)$$

この時、変位ベクトルの平均 E_v 及び標準偏差 C_v は以下のように与えられる。

$$E_v \approx v[b_\mu^{(m)}, b_\mu^{(l)}, b_\mu^{(g)}] \quad (3)$$

$$C_v \approx \left[\frac{\partial v}{\partial b^{(m)}} \right]_k^T C_{bm} \left[\frac{\partial v}{\partial b^{(m)}} \right]_k + \left[\frac{\partial v}{\partial b^{(l)}} \right]_k^T C_{bl} \left[\frac{\partial v}{\partial b^{(l)}} \right]_k + \left[\frac{\partial v}{\partial b^{(g)}} \right]_k^T C_{bg} \left[\frac{\partial v}{\partial b^{(g)}} \right]_k \quad (4)$$

同様に、構造要素の曲げモーメントについても、その平均値 E_M 及び標準偏差 C_M は以下のように得られる。

$$E_M \approx M[b_\mu^{(m)}, b_\mu^{(l)}, b_\mu^{(g)}] \quad (5)$$

$$C_M \approx \left[\frac{\partial M}{\partial b^{(m)}} \right]_k^T C_{bm} \left[\frac{\partial M}{\partial b^{(m)}} \right]_k + \left[\frac{\partial M}{\partial b^{(l)}} \right]_k^T C_{bl} \left[\frac{\partial M}{\partial b^{(l)}} \right]_k + \left[\frac{\partial M}{\partial b^{(g)}} \right]_k^T C_{bg} \left[\frac{\partial M}{\partial b^{(g)}} \right]_k \quad (6)$$

ここで、式(4)、(6)において $(\partial v / \partial b^{(i)})_k$ 及び $(\partial M / \partial b^{(i)})_k$ として示される感度を求めることが解析上のポイントとなる。構造モデルが線形の場合にはこれらは比較的容易に求めることができ、既に多くの研究成果²⁾が得られている。構造物が非線形となり増分解析が求められる場合であっても、確率変数の数だけ増分解析を行い、各確率変数毎に感度を求めれば、やはり式(4)及び(6)により標準偏差を求めることはできる。しかしながら、確率変数の数だけ増分解析を行うことは極めて非現実的である。文献3)では、非線形構造の感度解析手法を示し、そのRC構造への適用を検討している。

構造物の応力 R と外力 F との関係は以下のように表される。

$$R(v) = F \quad (7)$$

ここで上式を接点変位 v で微分すれば、

$$\partial R / \partial v = K^{(i)} \quad (8)$$

上式において K は接線剛性マトリックスであり増分解析の各ステップ毎に得られる。

一方、応力及び外力は、以下のように表される。

$$R = R\{v[b^{(m)}, b^{(l)}, b^{(g)}], b^{(m)}, b^{(g)}\} \quad (9)$$

$$F = F[b^{(l)}, b^{(g)}] \quad (10)$$

式(9)、(10)を式(7)に代入し、両辺を各確率変数で微分すれば、以下が得られる。

$$K^{(i)} [\partial v / \partial b^{(m)}]^T = -[\partial R / \partial b^{(m)}]^T \quad (11)$$

$$K^{(i)} [\partial v / \partial b^{(l)}]^T = [\partial F / \partial b^{(l)}]^T \quad (12)$$

$$K^{(i)} [\partial v / \partial b^{(g)}]^T = [\partial F / \partial b^{(g)}]^T - [\partial R / \partial b^{(g)}]^T \quad (13)$$

ここで、右辺に示す応力及び外力の感度は要素レベルで計算することができ、これらを足し合わせることでシステム全体の感度を求めることができる。

以上に示す感度解析手法は構造形式に係わりなく適用できるものであるが、要素毎に $\partial R / \partial b$ 及び $\partial F / \partial b$ を

求めるには解析上のさらなる工夫を要する。例えば、文献3)では、RC柱、はり部材のモーメント - 曲率関係を二次放物線で近似し、構造特性のばらつきを曲げ耐力に集約した上で、これらの感度を導出している。

今後は、本研究による調査結果等を踏まえ、図1に示すような有壁ラーメンを対象として、構造特性のばらつきを考慮に入れた解析ツールを実際に作成し、その適用範囲や実用性を検討していくこととする。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会構造委員会限界状態設計法小委員会：建築物の限界状態設計指針(案)，1999.9
- 2) 例えば、中桐滋，久田俊明：確率有限要素法入門，培風館，1985.5
- 3) Jan G. Teigen et. al: Probabilistic FEM for Nonlinear Concrete Structures. I: THEORY, Journal of Structural Engineering, Vol. 117, No. 9, 1991.9

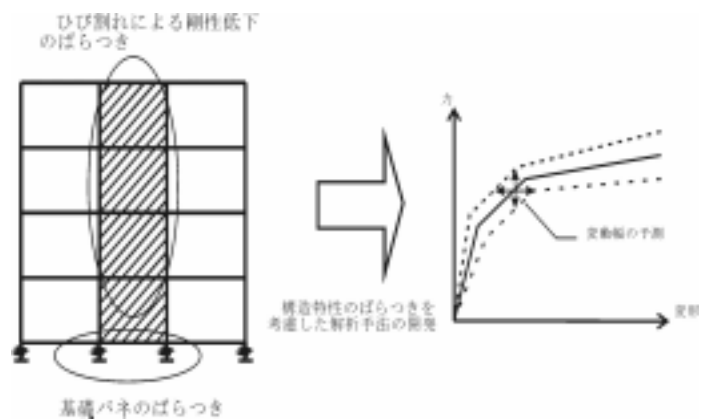


図1 RC有壁ラーメンの構造モデルと構造特性の不確定性を考慮した解析手法のイメージ