



研究ノート

コンクリート曲げ部材の 終局変形能力とその改善

鈴木計夫* 中塚 侑**

1. はじめに

建物が地震時に何らかの前兆も示さずにもろく崩壊することは人命にとって極めて危険なことであり、この急激な破壊を避けるためには、構造部材が建物に輸入されるエネルギーを十分に吸収できるだけの粘り強さを有していることが必要である。

鉄筋コンクリートおよびプレストレスト（鉄筋）コンクリートなどの梁あるいは柱部材は、コンクリートと鉄という異なった2種の材料からなる複合部材であるため、そのエネルギー吸収能力ならびにそれと直接に関係する変形能力は、部材を構成するコンクリートおよび鉄の力学的性質とその量に依存する。

引張力をうける鉄筋（鋼材）の力と変形の一

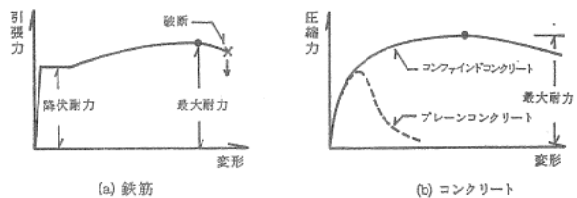


図1 鉄筋とコンクリートの力と変形の関係
(模式図)

般的な関係は、図1(a)に模式的に示すように、降伏耐力時に大きな変形を生じた後徐々に耐力を増加（ひずみ硬化）するもので、破壊は引張破断することによって起こる。これに対し圧縮力をうけるプレーンコンクリート（コンクリートのみで補強鉄筋を用いていないもの）の力と変形の関係は、図1(b)中の破線で示すように最大耐力以降、変形の増加に伴って顕著に支持耐力を減少（ひずみ軟化）するものである。

一方、梁（あるいは柱）の断面内では、図2(d)に示すように、鉄筋内に生じている引張力（ T ）と圧縮側コンクリートの支持する圧縮力（ C ）とが、梁のいかなる変形状態下においても釣合っていなければならない。

従って、この釣合い条件と先に述べた鉄とコンクリートの力学的性質とから、通常用いられる梁のように、引張鋼材量が十分に鋼材自身の破壊に対するポテンシャルが圧縮側コンクリートのそれに比べ大きい場合には、圧縮部コンクリートがそのひずみ軟化性質のために、梁変形の増加によって増大する鋼材引張力を支持できなくなる限界に達することが予測され、その時点で梁は終局的に破壊すると考えられる。

この終局限界時点での梁の変形能力は、プレ

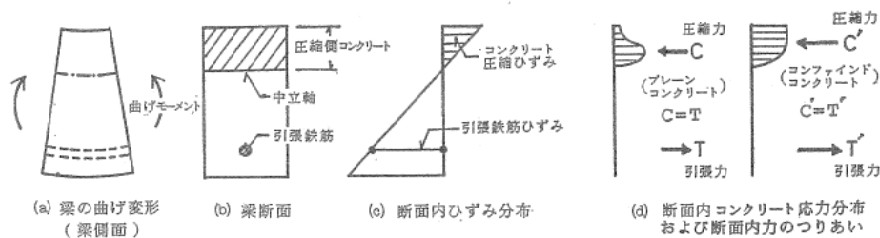


図2 梁断面内のひずみ、および応力分布と断面内力のつりあい

*鈴木計夫 (Kazuo SUZUKI), 大阪大学, 工学部, 建築工学, 鈴木研究室, 教授, 工博, 建築構造学

**中塚 侑 (Tadashi NAKATSUKA), 大阪大学, 工学部, 建築工学, 鈴木研究室, 助手, 建築構造学

ーコンクリートを用いた通常の梁の場合、図1(b)の破線で示すようにプレーンコンクリートの縮み能力が小さいため、余り大きくない。これに対し、梁の圧縮側コンクリートの力と変形の関係が図1(b)中の実線で示すようなものである場合について考える。この極めて粘り強い性質をもつコンクリートは、プレーンコンクリートに円形スパイラル筋を巻きつける形の補強を施すことによって、いわゆるコンファインド(横拘束)コンクリートとすることによって容易に得られるが、その優れた特性については筆者等の1人が既に本誌で紹介している¹⁾。コンファインドコンクリートはプレーンコンクリートに比べ最大耐力は高く、またその時点に達するまでの変形が格段に大きく、さらに最大耐力以降では支持耐力がごく緩やかにしか低下しないため、それ自身の破壊に対するポテンシャルは非常に大きい。従って、梁の圧縮部にこのコンファインドコンクリートを適用すると、引張鋼材に対する圧縮側ポテンシャルの相対関係がプレーンコンクリートの場合に比べ著しく改善され、その結果コンクリートの圧縮力が鋼材引張力とバランスできなくなる上記の終局限界点に至るまでの変形能力は飛躍的に増大する

ことになる。

本稿では、当研究室が建物の靱性(粘り強さ)設計を目標として8年ほど前から行っている、コンクリート系の梁および柱部材の終局変形能力や高靱性化設計法に関する理論的、実験的研究の中から、コンファインドコンクリートの利用によって構造部材の靱性がいかに画期的に改善されるかを、いくつかの実験例を用いて具体的に紹介する。

2. 高靱性曲げ部材

まず図3は、直径3.3mmのなまし鉄線で作製した円形スパイラル筋を曲げ圧縮部に配したプレストレストコンクリート梁を単調曲げ試験したときの荷重—変形関係を示したものである。PC鋼材が細く、圧縮側コンクリートのポテンシャルが引張PC鋼材のそれに比べ相対的に高い場合(N1, P2-1, P3-1試験体)、鋼材の伸び能力によって靱性は得られるものの、梁はPC鋼材の破断によって非常に危険な突発的破壊を起こす。それ故、このような少量の鋼材しかもたない部材は使用すべきでない。次に、通常用いられるより若干多めの引張鋼材量となる太いPC鋼材を用いた場合、圧縮側コンクリートが無補強でそのポテンシャルが引張鋼材のそれ

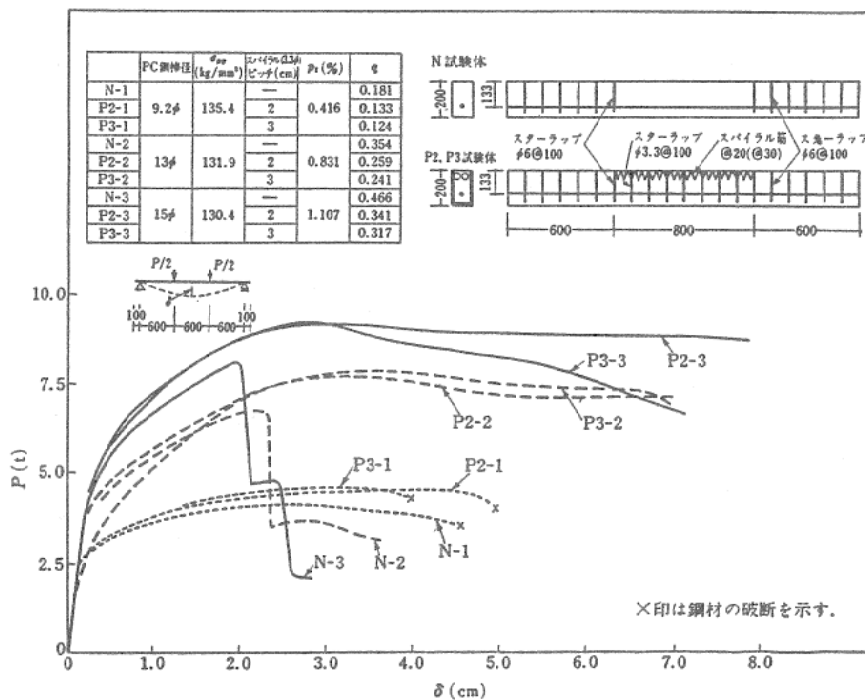


図3 単調曲げ試験梁の荷重—変形関係

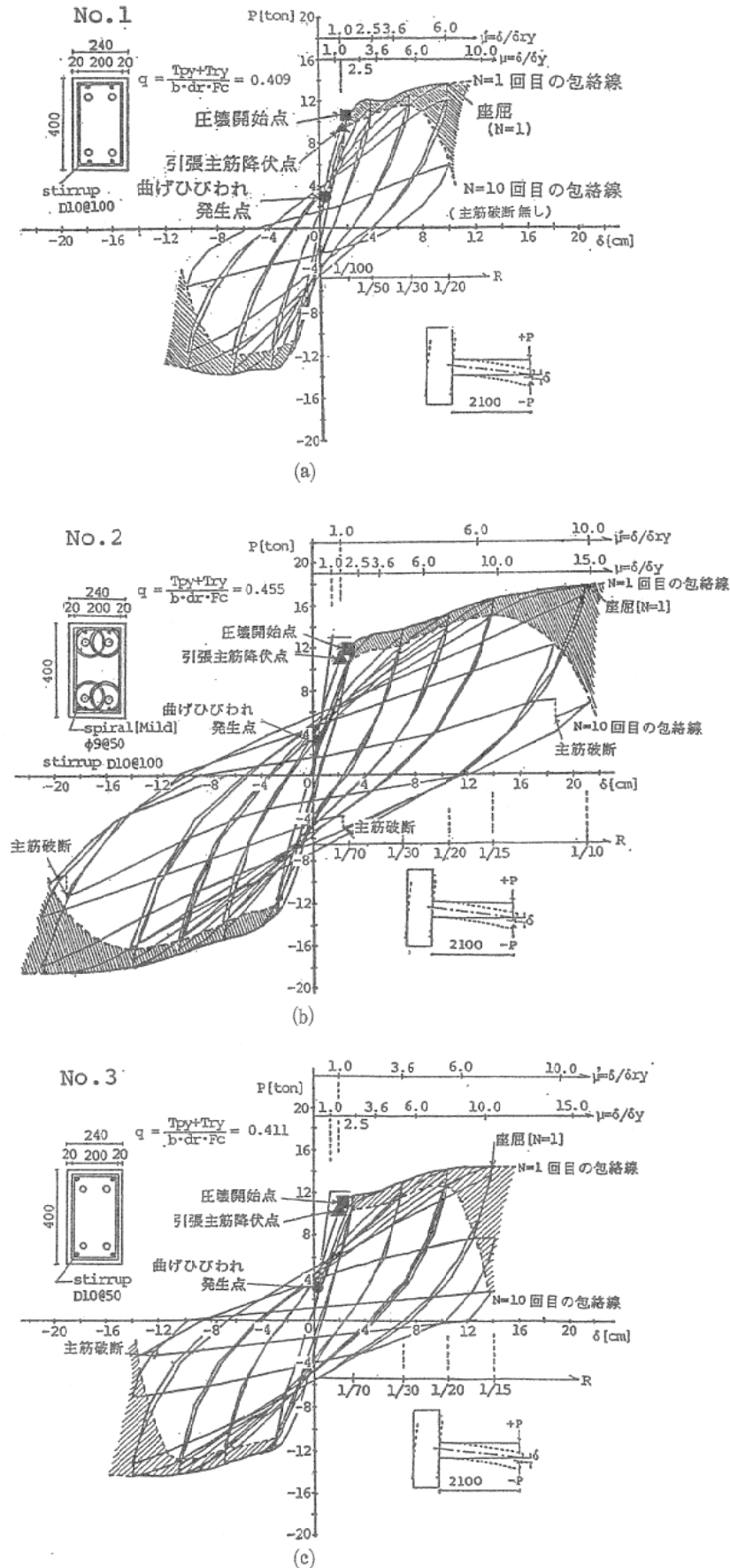


図 4 試験梁の荷重-変形関係

より低いと、梁（N-3試験体）は圧縮部プレーンコンクリートが脆性的に壊れることによって、ごく小さい変形域で破壊する。これに対し、先に述べたごく軽微な円形スパイラル筋を用いて圧縮側をコンファインドコンクリートとし、そのポテンシャルティを高めると梁（P2-3, p3-3 試験体）の靱性は画期的に改善され、大きな耐力と粘り強さを有する部材の設計がコンファインドコンクリートの利用によって容易に可能となることがわかる。

次に図4は、梁の破壊ゾーンの曲げ圧縮部に横拘束筋を適用した、実物により近い片持形式のプレストレスト鉄筋コンクリート梁を、大変形領域において多数回くり返し载荷したときの荷重—変形関係についての結果である。同図より、各くり返し階の第1サイクルに対する包絡線はいずれの試験体でも粘り強い性状を示しているが、第10サイクルに対する包絡線は試験体によって極めてもろい性状を示す場合もみられる。このことは多数回のくり返し荷重が作用する地震時でのコンクリート部材の性能を評価するためには、塑性域のくり返し試験回数が従来の研究のような1回程度ずつでは不十分であることを示している。次に、図4(b)に示す試験体No. 2は同図(a)の試験体No. 1の曲げ圧縮部に、直径9mmの鉄筋をピッチ50mmで巻いた円形スパイラル筋を付加配置したものである。円形補強筋の使用によって粘り強さが著しく改善されると同時に、くり返し荷重に対する安定性も非常に高くなり、このようなコンファインド補強を行えば、建物の各階の揺れ幅が20cm程度に

もなるような地震に対しても構造体は十分安全性を保つと考えられる。また、図4(c)に示す試験体No. 3は、従来から用いられてきた角形の横補強筋（スターラップ）をピッチ50mmと密に配筋した試験体で、曲げ圧縮拘束筋量としては試験体No. 2とほぼ同程度になるものである。試験体No. 2と3の荷重—変形関係の比較から、粘り強さおよびくり返し荷重に対する安定性の改善に対しては、円形補強筋の方が角形補強筋よりもより有効であることがわかる。

なお、現在実験を行っている柱部材においても、梁の場合と同様、円形スパイラル筋による卓越した靱性改善効果が示されている。

3. おわりに

以上、コンクリート構造をより耐震的な構造とするために必要な、梁および柱部材の靱性ならびにくり返し荷重に対する安定性が、それら部材の圧縮部を円形スパイラル筋で拘束し、コンファインドコンクリートとすることによって得られることを述べてきた。

一方、圧縮部をコンファインドコンクリートとする施工も従来工法と同様の容易さで行い得るため、コンファインドコンクリートを利用する高靱性部材は今後のコンクリート構造の一つの主流となる筈のものと考えられ、またその設計法の確立も近い将来可能になると思われる。

参考文献

- 1) 鈴木計夫, コンクリートの変形能力とその改善, 生産と技術, VOL. 30, No. 1, 1978