

論文

[2040] RC 造有孔梁の省力せん断補強方法に関する実験的研究

正会員○前口剛洋 (西日本工業大学建築学科)

正会員 出光 隆 (九州工業大学設計生産工学科)

正会員 山崎竹博 (九州工業大学設計生産工学科)

正会員 渡辺 明 (九州工業大学設計生産工学科)

1. まえがき

鉄筋コンクリート構造物は、梁柱部材の鉄筋の加工や配筋の精度が構造物全体の耐力に大きく影響を及ぼす。特に、用途上やむを得ず部材に断面欠損が生じる梁や耐力壁等の主要構造部材の開口部周辺補強の配筋には、断面減少に伴うせん断耐力を確保するため、より高い施工精度が要求される。しかも、これら開口部分の配筋作業は、主筋や肋筋およびスラブ定着筋等が入り組んだ狭い箇所での作業となるため施工難度が高く、熟練工による手作業が必要となってくる。

一方、近年の建設業界では建設現場の労働者不足も相まって、鉄筋加工業の部門でも熟練配筋工が不足し、現場作業の省力化や簡素化が求められている。

さて、最近、施工技術の向上および高強度材料の出現等により、鉄筋コンクリート造の超高層化が可能になり、また、都市の高密度化、情報化時代の到来にともない、設備機能を充実した大規模なインテリジェントビル等が多く建てられるようになった。これらの建物は、設計上、経済性及び安全性を考慮して階高を低くするために、梁下端と天井との空気が少なく、設備関係の配管等に際しては、必然的に梁に貫通孔が設けられることになる。また、以前の建物に比べて、一つの建物における貫通孔の数の割合も多くなっており、配筋工事における有孔梁の補強作業が建物全体の工期に及ぼす影響が大きくなってきた。

現場における梁部材の配筋作業工程は、一般に鉄筋工による配筋工事を行った後に、設備配管工による貫通孔の設置とその補強作業が実施されるため、既に組み立てられている鉄筋の結束を緩めて肋筋やスラブ定着筋を移動させ、補強用鉄筋を組み立てていくことになる。また、これらの補強作業は組み立てられた鉄筋のわずかなすき間に手を差し込んで行われるため、擦傷や切傷を伴う予想以上の重労働であり、配筋の施工精度の低下にもつながる恐れがある。

2. 研究目的

以上のことをふまえると、今までのようなせん断補強筋を1本1本加工切断して組み立てていく、いわゆる在来補強方法や、補強作業の際、既に組み立てられた鉄筋をゆるめ、再度結束し直す、いわゆる二度手間作業があるような方法等では、現場における施工精度、検査管理の難しさおよび技能工の不足等の種々の問題点が存在し、対処できなくなって来ており、これからの有孔梁の補強においては強度の確保だけではなく、施工性にも優れた補強方法が必要となってきた。

本報告は、これら幾つかの問題点を解消するため、特に施工性に重点をおいた実用的な簡易補強金物を試作し、その現場における施工性と補強効果を実験的に検討したものである。なお、本研究で提案した補強金物の主な特徴は、既に組み立てられたスラブ定着筋および肋筋間を通して容易に配筋出来るように、補強金物を孔部上下に分離し2本で一对として、その形状をくの字型としたところにあり、その施工の容易さ、施工精度の向上および作業時の擦傷に伴う安全性に

については実際の建設現場において検討し [1]、確認されている。また、提案補強金物の具体的な補強の特徴については後述する。

3. 実験概要

3. 1 試験体

試験体の形状・寸法を図-1に示し、図-2に本研究で提案したくの字型補強金物の詳細（KAタイプ）を示した。試験体は梁幅25cm、梁せい40cm、試験体全長230cmとし、せん断スパンは、スパン中央の80cmにとり、その1/2点に梁せいに対する孔径の比（ H_e/D ）が実用設計において上限とされている1/3.0の値になるように133φの開孔部を設けた有孔梁とし、曲げ降伏に先行してせん断破壊するように設計した。本実験に用いた試験体の種類は、補強効果の比較の基準となる無補強有孔試験体（Mタイプ）、Mタイプに一般的に使用されているリング型補強金物（継手部はフレアー溶接による重ね継手接合で作製）を挿入した有孔試験体（Rタイプ）、そして本研究の提案補強金物である、くの字型A、Uの字型、くの字型BをそれぞれMタイプ試験体に挿入した有孔試験体（KAタイプ、Uタイプ、KBタイプ）の5種類で、各タイプごとに3体、合計15体である。試験体の種類および試験概要を表-1に、各試験体の補強金物取付詳細図を図-3に示した。なお、くの字型補強金物のKAタイプとKBタイプの相違は図-3で明らかなように、KAタイプは材軸45度方向のかぶり用鉄筋（D6）をリング型に、KBタイプは、試験体孔部の上下位置にあたる部分にリング型の鉄筋（D6、D10、D13）を加えた補強金物である。また、本実験に使用した材料強度は、コンクリートの平均圧縮強度（試験初日と最終日の平均値を採用）が220kgf/cm²（KB-1試験体のみ180kgf/cm²）であり、鉄筋は主鉄筋（D22、SD35）、補強金物およびスターラップ（D10、SD30）の降伏点強度はそれぞれ38.9kgf/mm²、35.9kgf/mm²であった。

3. 2 試験方法

図-4に実験装置を示す。試験は、曲げによる影響を少なくするため大野式加力方法 [4] によった。加力は、200ton 万能試験機を用いて1サイクル目は、載荷点および支点部の安定を得るために予想最大荷重の約1割に相当する5tfまで載荷し、2サイクル目は曲げひび割れもしくは孔部周辺部の斜めせん断ひび割れ発生まで、3サイクル目は、2サイクル目で斜めせん断ひび割れが発生した試験体は破壊まで、曲げひび割れ発生した試験体は斜めせん断ひび割れ発生までとし、4サイクル目で破壊まで載荷した。測定方法は、荷重はロードセルで、歪みは最大曲げモーメントが生じる支点位置の主筋、孔部際のスターラップおよび補強筋

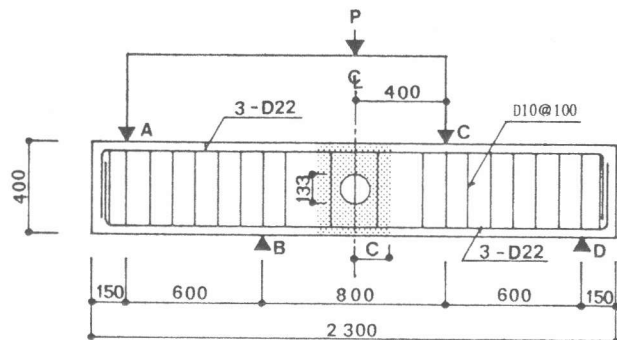


図-1 試験体

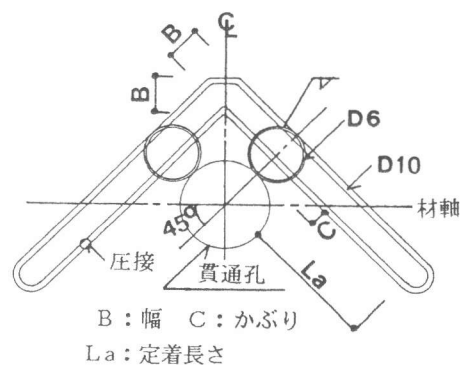


図-2 くの字型補強金物（KAタイプ）

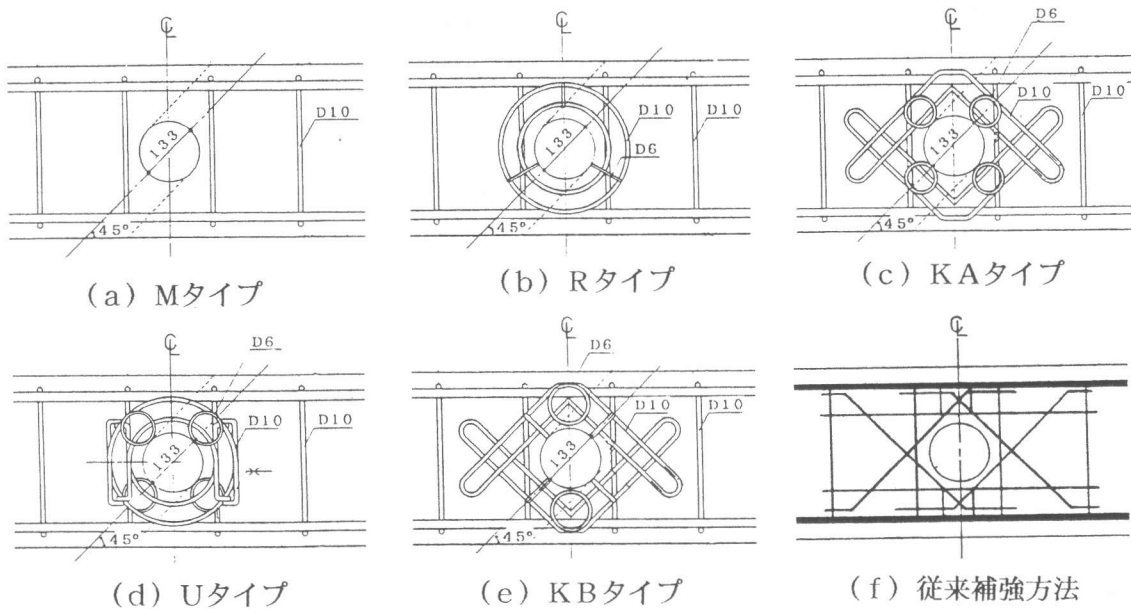


図-3 補強金物取付詳細図

を歪ゲージにより測定した。

また、試験体表面の孔部45度線上の上下2箇所にはロゼットゲージを貼り、その歪変化によって、対角線上の斜めせん断ひび割れ発生荷重の目安とした。変位は、図-4に示すように2個の電気式変位計を用いて、せん断スパンにおける支点間相対変位(図-1、B、C点)を測定した。

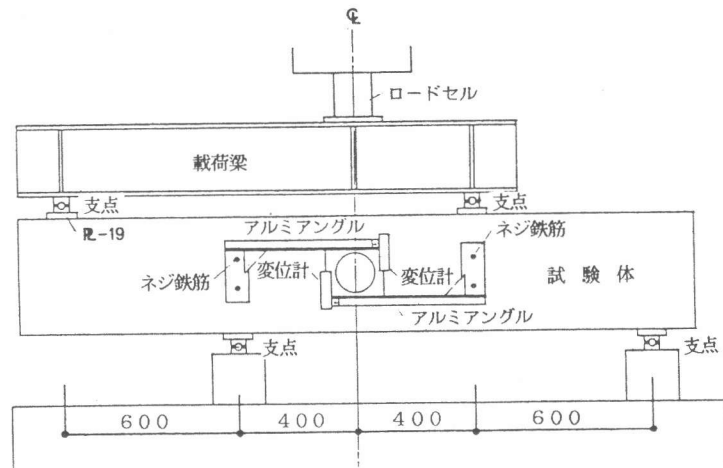


図-4 実験装置

4. 実験結果及び検討

表-1に各試験体の実験結果の一覧を示した。以下、最大せん断耐力、変形性状、ひび割れ及び破壊性状、実験値と計算値との比較等について検討する。

4. 1 最大せん断耐力

Uタイプ試験体の一部を除き、いずれの試験体も最大強度のばらつきは少なく、ほぼ平均的な値を示した。全体的にみて、Mタイプに補強金物を加えた試験体は、いずれの試験体も強度の増加は見られるが、特にくの字型補強金物を用いたKAおよびKBタイプの試験体が他の補強金物を用いた試験体に比べてかなり高い耐力を示しており、その耐力は無補強のMタイプ試験体の約1.5倍の値である。なお、KBタイプ試験体は、孔部の上下位置にあたるリング筋の径の太さの違いによるせん断耐力の影響を見るために、鉄筋径としてそれぞれD6 (NO. 1), D10 (NO. 2) D13 (NO. 3)の3種類を用いたが、本実験ではその違いによる影響は顕著に表れなかった。

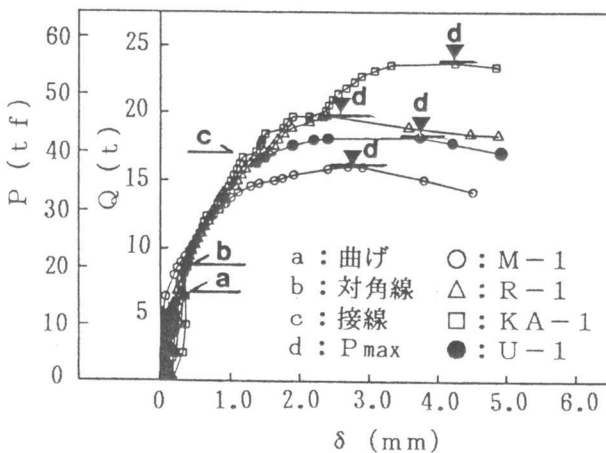
表-1 実験結果

試験体記号 試験体名	NO	開口部 補強方法 C区間	開口部 補強筋比 $P_{wo}(\%)$ (P_{wo}')	曲げひび 割れ発生 荷重 $P_{bc}(tf)$	斜めひび割れ荷重		最大荷重 $P_{max}(tf)$	最大せん 断耐力 $eQ_s(t)$	平均せん 断耐力 $eQ_s(t)$
					対角線 $P_{ac}(tf)$	接線 $P_{tc}(tf)$			
M 無補強	1 2 3	肋筋	0.38 (-)	18.7 15.7 13.0	12.3 15.7 14.5	34.5 28.6 30.9	37.4 34.5 37.7	16.0 14.8 16.2	15.7
R リング型	1 2 3	肋筋 + 補強金物	1.46 (0.89)	13.5 12.2 14.5	19.4 18.0 20.0	40.0 38.8 41.0	46.7 45.7 46.2	20.0 19.6 19.8	19.8
KA くの字型A	1 2 3	肋筋 + 補強金物	1.46 (1.08)	15.1 12.4 14.6	19.6 19.7 21.0	41.6 44.0 35.5	55.4 58.2 53.8	23.7 24.9 23.1	23.9
U Uの字型	1 2 3	肋筋 + 補強金物	1.46 (0.89)	11.0 14.5 16.8	20.5 18.0 20.9	36.7 40.0 35.5	42.4 48.3 40.7	18.2 20.7 17.4	18.8
KB くの字型B	1 2 3	肋筋 + 補強金物 ^{*1}	1.46 (1.08)	14.0 17.5 16.5	19.8 21.0 20.0	40.2 38.0 39.4	52.8 56.6 53.7	22.6 24.3 23.0	23.3 ^{*1}

<共通事項> *1): 補強金物の上下リング筋をKB-1 (D6), KB-2 (D10), KB-3 (D13)とした。
 ・試験体断面: $b \times D = 25 \times 40 \text{ cm}$ ($d = 35 \text{ cm}$)
 ・開口径: $H_e = 133 \phi$ ($D/3.0$)
 ・主筋 (SD35): 上端筋 3-D22 ($P_t = 1.327\%$)
 下端筋 3-D22
 ・肋筋 (SD30): D10@100 (A-B, C-D間, $P_w = 0.572\%$)
 D10@200 (B-C間),
 ・せん断スパン比: $a/d = 1.143$
 ・補強筋有効範囲: $C = 15 \text{ cm}$
 ・コンクリート (圧縮強度) $F_c = 220 \text{ kg/cm}^2$
 $F_c = 180 \text{ kg/cm}^2$ (KB-1のみ)

4.2 変形状

図-5に支点間相対変位 (B, C点) による荷重-変位曲線の一例を示した。図によれば、補強金物を用いていないMタイプ試験体に比べ補強金物を用いた試験体は、いずれの試験体も初期荷重時 (0~対角線ひび割れ) の剛性の低下は小さく、補強の種類によるその差は余り見られない。また、対角線ひび割れ発生から接線ひび割れの発生までの剛性は、多少の低下が見られるが補強の種類による差は初期剛性時と同様にあまり見られない。しかし、接線ひび割れの発生後から最大荷重点までの靱性は、KAタイプ試験体が他の試験体に比べ著しく大きいことがわかる。



(a-c)は、補強金物を用いた試験体のひび割れ位置の目安を示す。

図-5 荷重-変位曲線

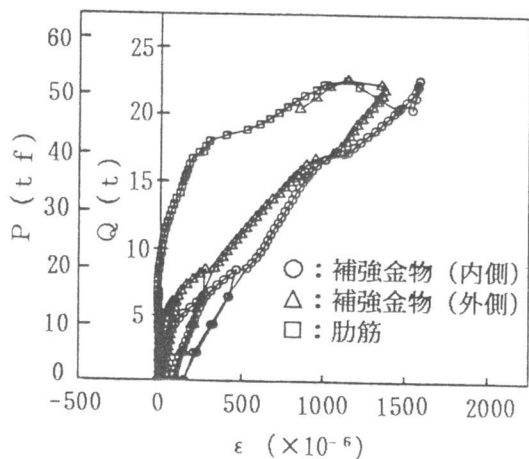


図-6 荷重-歪み曲線 (KB-1)

4. 3 ひずみ性状

図-6は、補強金物を用いた試験体の筋筋と補強筋のせん断力-ひずみ関係を示した一例である。図より補強金物の歪みは垂直に配置された筋筋に比べ、早期の荷重時より歪みが生じており、せん断補強に対して十分に補強効果が表れていることがわかる。このことは、その他の試験体においても同様のことが伺える。なお、補強鉄筋の内側（孔際）の鉄筋ともう一方（外側）の鉄筋の歪みの変化は、初期荷重時では内側、外側の順に補強の効果が表れているが、その後は多少の違いが見られる程度でほぼ同じ傾向を示した。

4. 4 ひび割れ及び破壊性状

図-7に最終破壊状況の一例を示した。

無補強のMタイプの試験体のひび割れ進展状況は、まず、支点部付近の曲げひび割れと前後して孔部中央から対角線方向に斜めせん断ひび割れが発生し、加力が最大荷重の85~90%付近に達すると孔部の接線上に斜めせん断ひび割れが生じ、そのひび割れが45度方向から支点方向に進展して最終破壊にいたる。

一方、補強金物を加えた試験体は各タイプにおいて最終破壊状況に多少の違いは見られるが、ひび割れの進展状況は、まず、最大曲げモーメントが生ずる支点部付近に曲げひび割れが発生し、つづいて孔部中央から部材軸より45度方向に斜めせん断ひび割れ（対角線ひび割れ）が発生するが、このひび割れは、ほとんどが部材の縁まで達せずひび割れ幅も小さい。その後、Mタイプ試験体と同様に最大荷重時付近で孔部接線ひび割れが発生し、このひび割れが梁を貫通し最終破壊にいたる。このことから、この孔部接線ひび割れに対して補強筋を有効に作用させることによって、孔部周辺の補強効果を高めることが出来ると考えられる。また、補強金物を加えた試験体は、いずれの試験体も無補強試験体に比べて斜めせん断ひび割れの分散が顕著に見られた。

4. 5 実験値と計算値の比較

図-8に広沢修正式[2]、[5]によるせん断終局耐力計算値と実験値との比較を示した。

図によれば、補強金物を用いた試験体では、くの字型補強金物を用いたKA、KBタイプの試験体が計算値を上回っており、安全側に評価できるといえる。一方、RタイプとUタイプ試験体の最大耐力は計算値に対して0.8~0.9倍程度であり計算値を下回ったが、孔部接線ひび割れが最大耐力に及ぼす影響が大きいことを考慮して求めた開口部補強筋比[3]（表-1に示した P_{wo} ）を用いて算定した値は実験値とよく適合した。

5. 現場施工実験

実際の建設現場において、本研究で提案したくの字型補強金物（KAタイプ）を用いて、その施工性を実験的に検討してみた。写真-1は、現場取り付

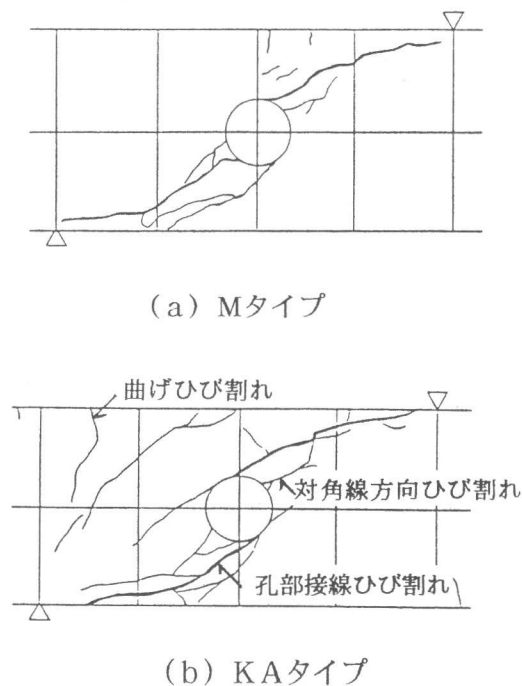


図-7 最終破壊状況

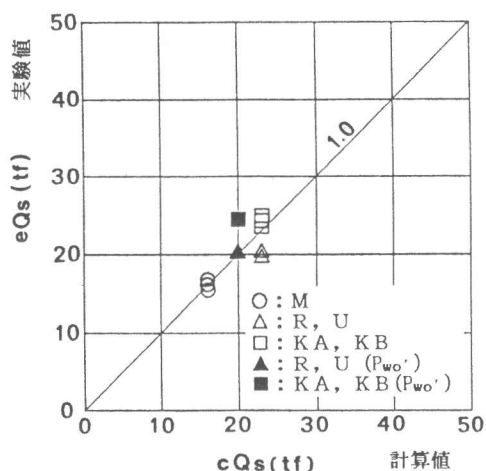


図-8 計算値と実験値の比較

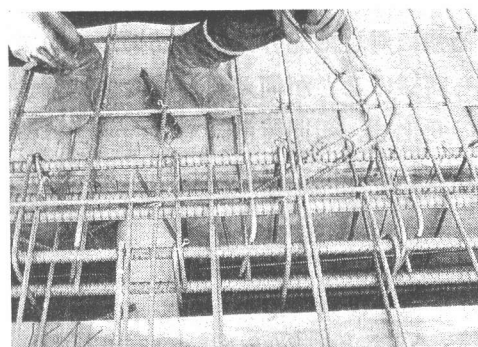


写真-1 補強金物取り付け作業風景

け作業風景である。

写真で示すように、梁の開孔周辺部は主筋と肋筋の他にスラブ筋が梁内に定着されたり横切ったりしているため、鉄筋間の空きは非常に狭くなっている。くの字型補強金物は、このような鉄筋間隔の狭い場所でも既存の鉄筋の結束を緩めることなく補強作業ができた。現場での各工法による組み立て配筋作業に要した時間は、従来工法(図-3(f))は、9分20秒、市販既製補強金物工法は5分42秒、そして本提案補強工法は3分55秒(いずれの工法も3回の平均時間)であり、従来の補強方法に比べ、本工法は組み立て作業の所要時間が短縮できた。

また、本工法では補強の際、かぶり筋がボイド管を孔部の上下45度位置、4箇所固定するために、従来、コンクリート打設時にボイド管の浮き上がり防止用に用いられていた2本の水平筋を使用することなく、ボイド管の浮き上がりによる孔のずれを防ぐことができ、コンクリート打設後も孔が適正な位置に保たれ、施工精度、作業能率及び経済性の向上等その他、作業の安全性にも優れていることが確認された。

6. まとめ

本報告は、鉄筋コンクリート梁の貫通孔の補強方法に関して、施工性に重点をおいた実用的な簡易補強金物を考案し、その現場における施工性と補強効果を実験的に検討したものの報告であった。その結果、施工性においては、補強作業の容易さ及び施工精度や作業時の安全性が確認された。また、強度性状においても、せん断耐力に対して補強効果が確かめられ、くの字型補強を用いた有孔梁の耐力の算定には広沢修正式[2]、[5]が有効であることが明らかとなった。

[参考文献]

- 1) 前口剛洋・出光 隆・山崎竹博：ウェブに貫通孔を有するRC梁のせん断補強方法，土木学会西部支部講演概要集 pp. 642-643, 1991. 3
- 2) 広沢雅也・清水 泰・山田二男：鉄筋コンクリート造有孔梁のせん断強度と靱性(その1, 2) 建築技術, NO. 331, 332, pp. 93-101, pp. 139-153, 1979. 3, 4
- 3) 広沢雅也他：鉄筋コンクリート造有孔梁の耐震性能に関する実験研究(その6)，建築学会大会講演梗概集, pp. 337-338, 1990. 10
- 4) 有孔梁委員会：鉄筋コンクリート造有孔梁に関する研究(その1, 3, 10)，建築学会論文報告集 63号, 66号, 69号 pp. 597-600, pp. 449-452, pp. 541-544, 1959. 10, 1960. 10, 1961. 10
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, pp. 273-276, 1990