

RC版の耐衝撃性に与える配筋位置の影響

Effect of rebar arrangement on impact resistant capacity of RC slab

室蘭工業大学

三井住友建設(株)

寒地土木研究所

(株)KGエンジニアリング

室蘭工業大学 大学院

フェロー 岸

フェロー 三上

正会員 栗橋

正会員 小澤

○学生会員 館

徳光 (Norimitsu Kishi)

浩 (Hiroshi Mikami)

祐介 (Yusuke Kurihashi)

靖 (Yasushi Ozawa)

雅春 (Masaharu Tate)

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)床版等の面部材に集中荷重が静的かつ局所的に作用する場合、脆性的な破壊形式である押抜きせん断破壊によって終局に至ることが明らかになっている。RC床版等の面部材の押抜きせん断耐力は、コンクリート標準示方書¹⁾(以後、示方書)における面部材の設計押抜きせん断耐力の算定式を用いて評価するのが一般的である。この評価式では、図-1に示すモデルのように押抜きせん断ひび割れが集中荷重載荷面の端部より下端鉄筋位置まで斜め45°下方に進展すると仮定し、そのせん断ひび割れの表面積にコンクリートの引張強度や鉄筋比、有効高さなどの影響係数を乗じることにより耐力を算出している。そのため本式では、鉄筋の影響は鉄筋比に換算して影響係数に反映されるのみであり、同一鉄筋配置の場合には載荷位置の影響は考慮されない。

しかし、載荷位置が直交する鉄筋の直上にある場合と鉄筋間隔内の場合では、押抜きせん断コーンの形成状況や鉄筋のダボ効果の出現度合いなどが異なる場合も想定される。特に、衝撃荷重が作用する場合には、瞬間的に衝撃力がコンクリートおよび鉄筋に伝達されるため、衝撃荷重の作用位置が耐荷性状に影響を与えることが予想される。

そこで本研究では、RC版の耐衝撃性状に与える載荷位置の影響を検討するため、載荷位置の異なるRC版に関する静的・衝撃載荷実験を実施した。

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

表-1には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。試験体名は載荷位置における鉄筋の状況(鉄筋交差点直上または鉄筋間隔中央)を表すCRとSPとした。試験体数

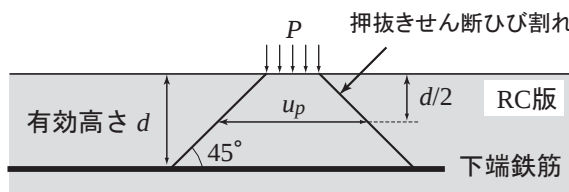


図-1 押抜きせん断破壊のモデル

表-1 試験体の一覧

試験体名	載荷位置	鉄筋比 (%)	コンクリートの圧縮強度 (MPa)	衝突速度 V (m/s)
CR	鉄筋交差点直上	1.1	37.4	4, 5, 5.5, 6
SP	鉄筋間隔中央		35.1	

は、それぞれ静載荷用試験体を1体、衝撃載荷用試験体を4体とした全10体である。

図-2には、本実験に用いたRC版の形状寸法および配筋状況を示している。RC版の寸法は2,000×2,000×180mmである。下端鉄筋にはD16を用い、下縁より平均芯かぶりが40mmとなるように配置した。また、版中央部の載荷位置で配筋が異なるようにCR試験体は版中央部より150mm間隔で、SP試験体は版中央部より75mm離れた位置より150mm間隔で格子状に配置した。鉄筋はRC版の四辺に設置した溝型鋼に溶接し、定着を確保している。

2.2 実験方法

写真-1には、本実験の実験状況を示している。本実験の支持条件は、純スパン長1.75mの四辺単純支持としている。また、支点は回転を許容し試験体の浮き上がりを拘

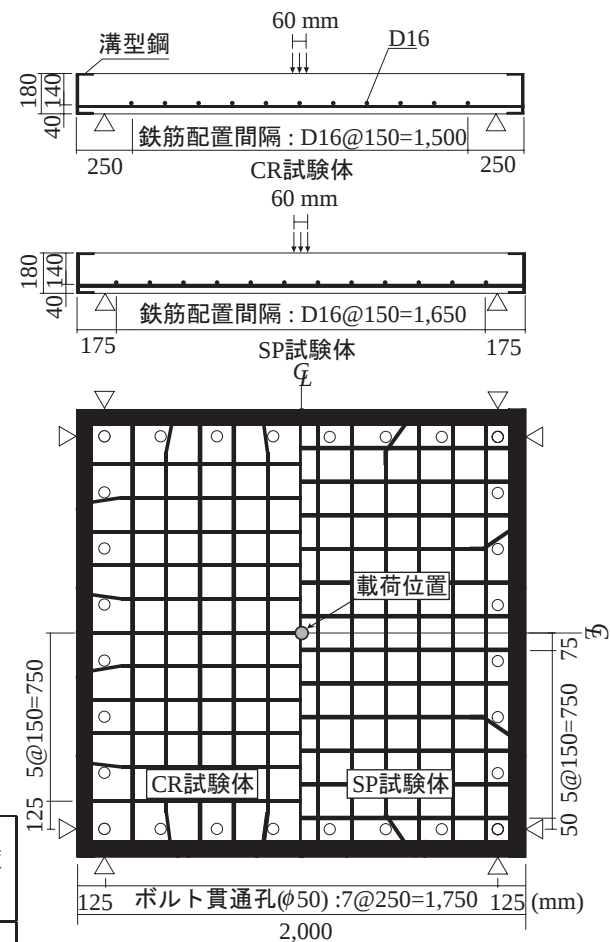


図-2 試験体の形状寸法及び配筋状況

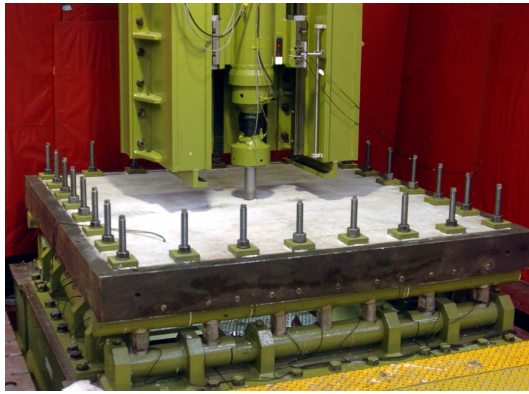


写真-1 重錘落下衝撃実験の状況

束するピン支持に近い構造となっている。また、静荷重および衝撃荷重載荷実験ともに、載荷盤には直径 60 mm で底部に高さ 2 mm のテーパがついた鋼製円柱を用いており、載荷位置を RC 版の中央部としている。

静載荷実験は、容量 500 kN の油圧ジャッキを用いて実施した。載荷は、RC 版の耐力が十分に低下し、ほぼ一定の荷重レベルに収束するまで行った。

衝撃載荷実験は、質量 300 kg の鋼製重錘を所定の高さから一度だけ自由落下させる単一載荷法を採用した。衝突速度は、静載荷実験や過去の著者らによる実験結果に基づいて第 1 回目の衝突速度を決定し、第 2 回目以降の衝突速度は RC 版の損傷状況を確認した後に決定することとした。

測定項目は、重錘衝撃力 P 、支点反力 R （以後、支点反力）および載荷点直下の変位 δ （以後、変位）である。また、実験終了後には、RC 版の裏面のひび割れおよび版中央部を主鉄筋方向に切断して切断面のひび割れを撮影し、破壊性状を観察している。

3. 実験結果および考察

3.1 静載荷実験結果

(1) 静荷重－変位関係

図-3 には、両試験体の静荷重－変位関係を示している。また、表-2 には、静載荷実験の結果をとりまとめている。なお、表中の計算押抜きせん断耐力 V_{pcd} は、示方書に基づき $\gamma_b = 1.0$ として算定している。

図-3 より、載荷位置にかかわらず、両試験体ともに載荷初期から同様の剛性勾配を示しており、最大荷重時変位は SP 試験体で若干小さいものの最大荷重値はほぼ同程度を示していることが分かる。また、最大荷重を示した後、荷重が急激に低下しており、押抜きせん断破壊により終局に至っていることが分かる。

(2) ひび割れ分布性状

図-4 には、実験終了後における試験体裏面のひび割れ分布性状を示している。また、写真-2 には、試験体中央部切断面のひび割れ状況を示している。なお、図-4 の斜線部はコンクリートの剥落部を示している。

図-4 より、対角線状のひび割れが SP 試験体に比較して CR 試験体で多く見られるものの、円形状の押抜きせん断コーンの大きさは両試験体でほぼ同様であることが確認できる。

写真-2 より、いずれの試験体においても載荷点から支点側に向かい斜め下方に押抜きせん断面が形成されている

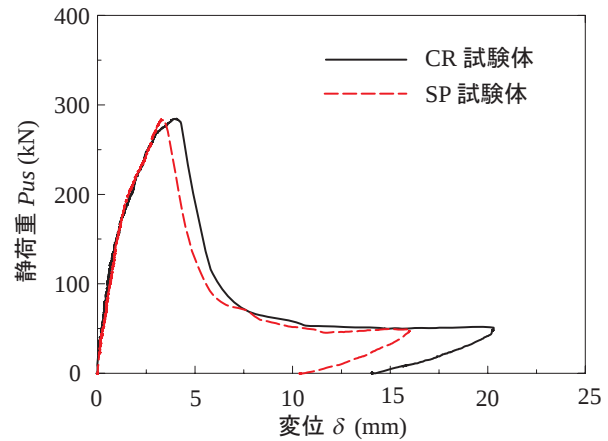


図-3 静荷重－変位関係

表-2 静載荷実験結果

試験体名	計算押抜きせん断耐力 P_{us} (kN)	実測押抜きせん断耐力 V_{pcd} (kN)	最大荷重時変位 δ_u (mm)	耐力比 V_{pcd}/P_{us}
CR	289.9	284.5	4.06	0.98
SP	281.2	283.7	3.27	1.01

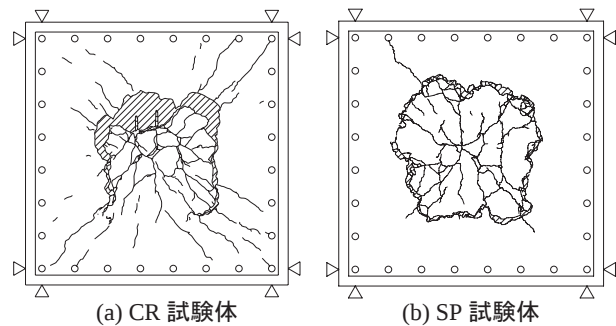


図-4 静載荷実験終了後における RC 版裏面のひび割れ分布性状

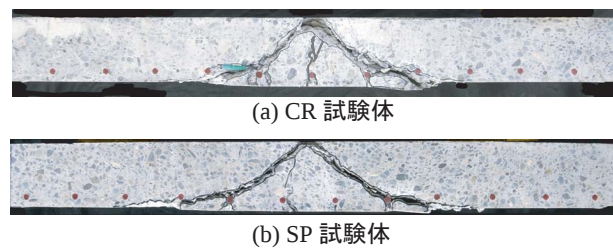


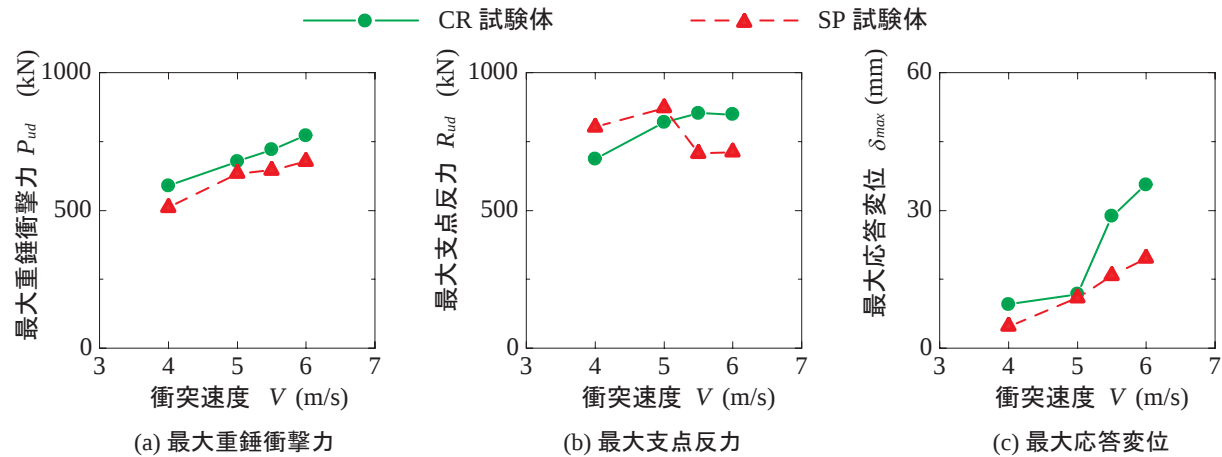
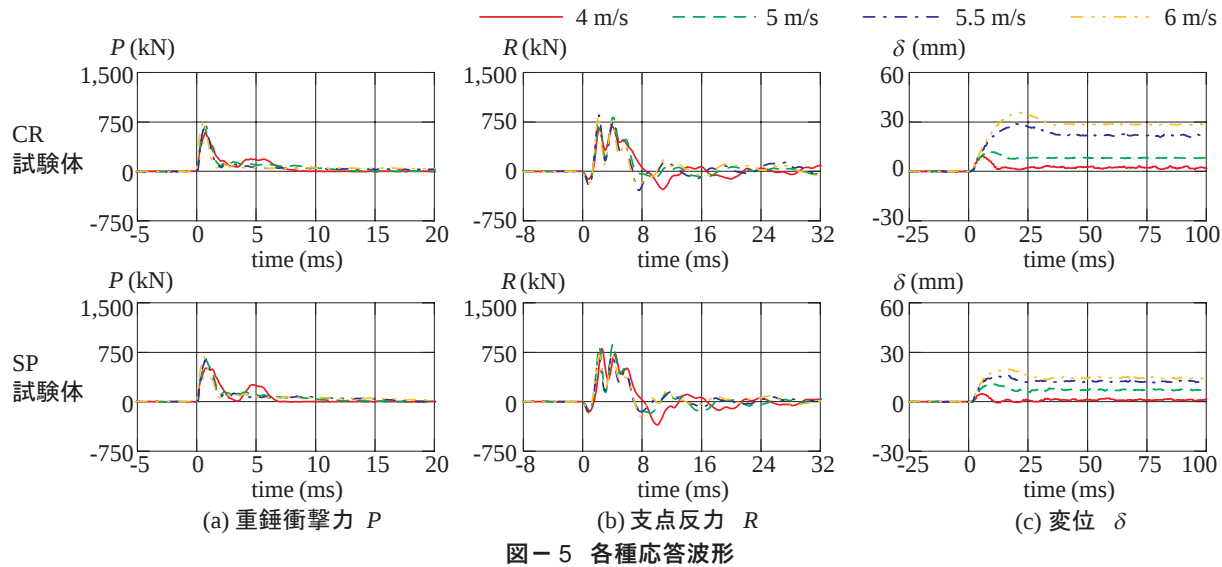
写真-2 静載荷実験終了後における中央部切断面のひび割れ分布性状

ことが分かる。また、両試験体の押抜きせん断コーンの形状寸法はほぼ同様であることが分かる。このことより、静載荷時においては、載荷位置の違いにかかわらず、RC 版の耐荷性状はほぼ同様であることが明らかになった。

3.2 衝撃載荷実験結果

(1) 重錘衝撃力、支点反力および変位波形

図-5 には、両試験体の重錘衝撃力 P 、支点反力 R および変位 δ に関する応答波形を試験体ごとに各衝突速度の結果を重ねて示している。なお、時間軸は重錘衝撃力が励起



した時刻を 0 ms として整理した。

図－5 (a) より、重錘衝撃力波形 P は、いずれの試験体も衝撃初期の振幅が大きく周期の短い第 1 波とその後の振幅が小さく周期の長い第 2 波で構成されている。

図－5 (b) より、支点反力波形 R は、両試験体ともに衝突速度にかかわらず、継続時間が 8 ms 程度の三角形波とそれに付随する正弦減衰波および周期が 2 ms 程度の波形が合成された性状を示していることが分かる。

図－5 (c) より、変位波形 δ は、両試験体ともに衝撃初期に正弦半波状を示し、以後一定値を保つ状態を示している。また、CR 試験体については、 $V = 4$ m/s での残留変位はわずかであるが、 $V = 5.5$ m/s 以降では、速度の増加とともに最大振幅が大きくなり、大きな変位が残留しているのが分かる。これに対し、SP 試験体では衝突速度の増加とともに最大振幅および残留変位が増大するものの CR 試験体ほど顕著ではない。

以上のことより、载荷位置の違いによる応答波形性状の違いは変位波形を除いてほとんど見られないことが明らかになった。

(2) 各種応答値の比較

図－6 には、最大重錘衝撃力 P_{ud} 、最大支点反力 R_{ud} およ

び最大応答変位 δ_{max} と衝突速度 V との関係を示している。

図－6 (a) より最大重錘衝撃力 P_{ud} は、両試験体ともに衝突速度の増加に対応してほぼ線形に増大し、その増加勾配もほぼ等しいことが分かる。最大重錘衝撃力 P_{ud} の大きさは、SP 試験体の方が若干小さく示されているが、これは、SP 試験体の圧縮強度が多少小さいためと考えられる。

図－6 (b) より、最大支点反力 R_{ud} は、いずれの試験体も衝突速度の増加に伴い増大する傾向にある。また、CR 試験体の $V = 5$ m/s、SP 試験体の $V = 5.5$ m/s でほぼ同程度の最大値を示し、その後は低下する傾向が見られる。なお、SP 試験体の最大支点反力の低下傾向は CR 試験体よりも顕著であり、载荷点位置の影響が出現しているものと考えられる。

図－6 (c) より、最大応答変位 δ_{max} は、衝突速度の増加に伴い増大する傾向にあるものの、全体的に SP 試験体で小さく示されている。また、CR 試験体で明瞭な押抜きせん断面が形成され、急激な変形量の増大が見られた $V = 5.5$ m/s 時においても、SP 試験体の変位の急増は認められない。これは、SP 試験体で $V = 5.5$ m/s 時に最大支点反力が大きく低下し、CR 試験体ではほとんど低下していないことと相反する結果である。一般的には、最大支点反力が低

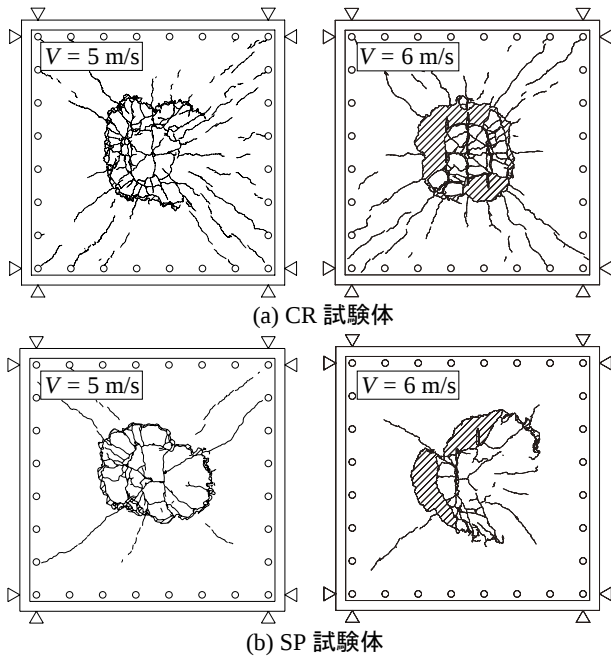


図-7 衝撃载荷実験終了後におけるRC版裏面のひび割れ分布性状

下する場合には最大応答変位が増大する傾向にある。このことから、最大応答変位の急増が必ずしも耐力の消失と対応しない場合もあることが分かる。

(3) 破壊性状

図-7には、 $V = 5 \text{ m/s}$ と $V = 6 \text{ m/s}$ の場合における両試験体の衝撃実験終了後のひび割れ分布性状を示している。また、写真-3には、同速度の試験体中央部切断面のひび割れ状況を示している。

図-7より、载荷点部を中心とした円形状の押抜きせんひび割れが生じていることが分かる。また、押抜きせん断ひび割れの大きさは、 $V = 5 \text{ m/s}$ ではほぼ同程度であるものの、 $V = 6 \text{ m/s}$ では、SP試験体で大きく示されている。また、写真-3からも同一速度の切断面を見ると、SP試験体で押抜きせん断コーンが大きく示されている。これは、CR試験体では押抜きせん断コーン内の鉄筋が、载荷点直下の交差する2本の鉄筋のみであり、少ない鉄筋で衝撃力に抵抗するため、より損傷が局所的となったものと考えられる。一方、SP試験体は载荷面直下には鉄筋が無いものの、せん断コーン内には鉄筋が4本存在し、これらが、ダボ効果を発揮して押抜きせん断コーンがより広がったものと考えられる。

(4) 変位分布

図-8には、 $V = 6 \text{ m/s}$ の場合におけるRC版裏面の断面方向の変位分布を衝突時より5ms毎に示している。図-8より、5ms時までは同様の変位分布を示しているが、10ms以降はCR試験体で载荷点における変位が増加しているのに対し、SP試験体ではその増加傾向は見られない。これは前述のとおり、CR試験体が鉄筋の交差点に载荷していることより、その交差点を頂点とした三角形の変位分布が現れたものと考えられる。一方、SP試験体の場合は、押抜きせん断コーン内に4本の鉄筋があり、これらが同時にダボ効果を発揮することから台形上の変位分布を示したものと考えられる。

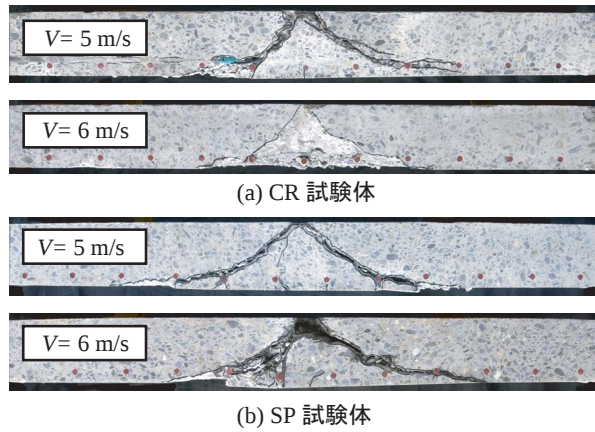


写真-3 衝撃载荷実験終了後における中央部切断面のひび割れ分布性状

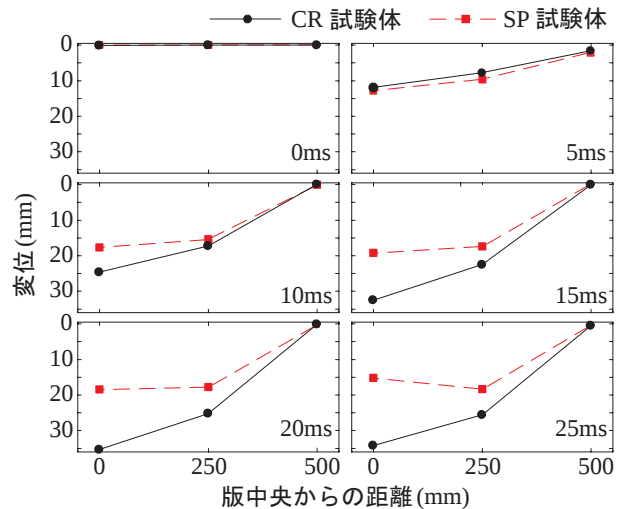


図-8 $V = 6 \text{ m/s}$ における変位分布図

4. まとめ

本研究では、衝撃荷重の载荷位置が耐衝撃性状に与える影響を検討するため、载荷位置を変えて静载荷および衝撃载荷実験を実施した。本研究の範囲内で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 静载荷実験より、载荷位置にかかわらず耐荷性状はほぼ同様である。
- (2) 衝撃载荷実験より、载荷位置にかかわらず、最大重錘衝撃力および最大支点反力はほぼ同等であるものの、最大応答変位は载荷位置の影響が大きいことが明らかとなった。
- (3) この変位量の違いは、押抜きせん断コーン内の鉄筋本数に依存するものと推察される。

参考文献

- 1) コンクリート標準示方書 (2002 年制定) 構造性能照査編, 土木学会, 2002
- 2) 安藤智啓, 岸徳光, 三上浩, 松岡健一: 断面寸法の違いがせん断破壊型 RC 梁の耐衝撃性状に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.2, pp.967-972, 2002.