

大型 RC 版の耐衝撃特性

ANTI-IMPACT CAPACITY OF PROTOTYPE RC SLABS

佐藤昌志* 岸 徳光** 三上 浩*** 松岡健一****

Masashi SATO, Norimitsu KISHI, Hiroshi MIKAMI and Ken-ichi MATSUOKA

* 開発土木研究所室長 構造研究室 (〒062 札幌市豊平区平岸 1-3)

** 工博 室蘭工業大学助教授 工学部建設システム工学科 (〒050 室蘭市水元町27番1号)

*** 工博 三井建設(株) 技術研究所 主任研究員 (〒270-01 千葉県流山市駒木518-1)

**** 工博 室蘭工業大学教授 工学部建設システム工学科 (〒050 室蘭市水元町27番1号)

In this paper, to evaluate anti-impact capacity of prototype RC slabs, the impact tests were performed by steel weight falling. The RC slabs used here have a 4 m span-length and 4 m width in dimensions and two types of rebar material were used which are normal deformed steel bars and Aramid FRP rods. Anti-impact capacity of RC slabs were considered for the three thicknesses of RC slabs which are 25, 50 and 75 cm thick and 1, 3 and 5 tf steel weight were used for them, respectively. Using the maximum reaction force obtained from the experiment, the ultimate impact capacity of RC slabs was considered comparing with the static bending and punching shear capacities. From this study, it was shown that: 1) under the lower velocity impact, failure of slabs was controlled by bending mode, but under the higher velocity impact, RC slabs failed with punching shear one, 2) the ultimate impact capacity of RC slabs may not be affected by rebar's material property, but mainly depended upon the concrete strength.

Key Words: RC slab, anti-impact capacity, punching shear, Aramid FRP rods

1. はじめに

RC 落石覆工は現在落石対策便覧¹⁾に基づいて設計が行なわれている。具体的には、90 cm 厚の敷砂を緩衝材とし、ラーメ定数 $\lambda = 100 \text{ tf/cm}^2$ とする振動便覧式を用いて衝撃力を算定して、許容応力度法により設計を行なうものである。しかしながら、平成元年福井県越前海岸で発生した岩盤崩壊による災害を契機として、落石によって発生する衝撃力を適正に評価するためや、新しい緩衝構造の開発に伴う緩衝性能および荷重分散性評価のための各種大型実験が行われるようになった²⁾。また、落石時の RC 覆工の実挙動性状に関する現場計測や数値解析も行われている^{3), 4)}。これらの数値解析的、実験的研究により、許容応力度法に基づいた設計手法の整備が着々と進行している。一方、岩盤崩壊、崩落等の災害を想定した RC 覆工の限界耐力評価の重要性も指摘されており、RC 部材あるいは RC 構造体の耐衝撃性評価に関する研究も急務であると考えられる。

RC 部材は、複合材料であるコンクリートと鋼材からなる複合構造部材であり、その力学的特性には部材寸法の影響があるといわれている。特に耐力等破壊領域の挙動にはその影響が大きく、耐力等の特性把握には出来るだけ実物に近い部材寸法での実験研究が望ましいと考えられる。

このような観点より、著者等は各種の大型 RC 版模型を作製し、北海道開発局開発土木研究所の屋外実験場において重錘落下による RC 版の耐衝撃性に関する実験

研究を行った。実験は純スパン、幅とも 4m の RC 版に対し、1 対辺単純支持、他対辺自由支持として、版中央部に版厚に応じて最大 5 tf の重錘を所定の高さから自由落下させることにより行った。本研究では特に独自に設定した破壊規定のもとに、重錘衝撃力、支点反力に関する実験結果および静的曲げ耐力、押抜きせん断耐力の計算値を用いて RC 版の限界耐力について考察した。

2. 実験の概要

2.1 試験体

表-1 に衝撃実験に用いた試験体の一覧を示す。試験体は版厚が 25cm のものが 3 体、50cm のものが 5 体、75cm のものが 1 体の合計 9 体である。各試験体名は表

表-1 試験体の一覧

試験体名	載荷速度 (m/sec)	版厚 (cm)	配筋	最大残留変形量 (mm)
D25-0.5S-1	1 ~ 5	25	単	23.4
D25-0.5W-1	1 ~ 6	25	複	31.4
D50-0.5S-3	1 ~ 5	50	単	19.6
D50-0.5W-3	1 ~ 5	50	複	17.8
D50-1.0S-3	1 ~ 6	50	単	19.4
D75-0.5S-5	1 ~ 6	75	単	15.7
As25-0.5W-1	1 ~ 5	25	複	27.9
As50-0.2W-3	1 ~ 5	50	複	19.5
As50-0.6W-3	1 ~ 6	50	複	16.1

に示してあるように、補強筋の種類 (D : 異形鉄筋, As : 砂付き AFRP ロッド), 版厚 (cm), 主筋の下端補強筋比 (%), 配筋方法 (S: 単筋配置, W: 複筋配置) および重錘重量 (tf) の順に 2 つのパラメータごとにハイフンで結んで記号化している. 配筋方法に関しては, 版厚 25cm および 50cm の試験体に対しては単筋と複筋配置を設定しているが, 版厚 75cm に対しては単筋配置のみである. なお, コンクリート強度は設計基準強度が 240 kgf/cm² で, 実験時の材令における圧縮強度は 249 ~ 257 kgf/cm² である. 実験時のコンクリート強度が, 設計基準強度と大差がないことより, 耐力計算時には設計基準強度を用いることとした. また, 表中に衝撃実験による最終的な最大残留変形量も示している. なお, 本研究では表一1 に示されている試験体以外に D50-0.5W 試験体を一体用意し, 静的載荷試験を行って静的耐力の計算値の精度および動的耐力の検証を行っている.

表一2 に配筋量の一覧を示す. RC 版は, 1 対辺単純支持, 他対辺自由支持の一方向版であることより, 単純支持方向の主筋は設定配筋量を, また, 配力筋は主筋配筋量に関わらず土木学会のコンクリート標準示方書に従って 0.15% 程度とした. 各 RC 版の配筋は主筋の配筋ピッチを 20 cm, および配力筋の配筋ピッチを 30cm と固定し, 補強筋の呼び径を変えることにより所定の配筋量に調整している. なお, As50-0.6W-3 の場合には AFRP ロッド 3 本を束ねた状態で配置している. 本実験に使用した鉄筋は全て SD295 であり, 降伏点強度の

規格値は 3,000kgf/cm²である.主筋として用いた RA15S の断面積は 1.7 cm², 弾性係数は 7.0×10⁵ kgf/cm², 引張強度は 15,000 kgf/cm² である.

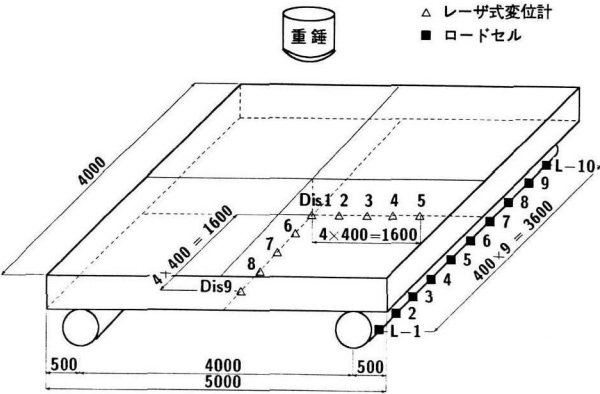
2.2 実験方法

図一1 に試験体の形状寸法および測定点の位置を示している. 実験に用いた RC 版は全長 5 m, 純スパン 4 m, 幅 4 m であり, 1 対辺単純支持, 他対辺自由支持とする境界条件とした. 各版の支点部は出来るだけ回転を拘束しないようにするために RC 版の上下に φ50 mm の鋼棒を設置し, かつそれらを一辺あたり 8 本の太径ボルトを用いて締め付け支点部のリバウンドによる跳ね上がりを防止している. また, 1 支持辺には支点反力を測定するために, 衝撃荷重測定用ロードセル (容量 5 tf) を 2 列, 400 mm ピッチに合計 20 個設置している. 総支点反力はこれらを合算し, かつ 2 倍して評価している.

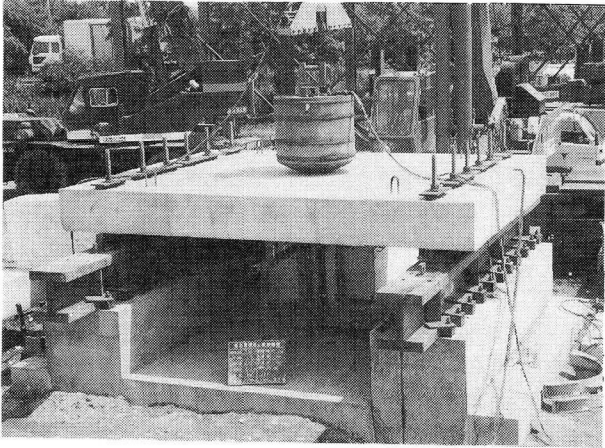
本実験では, 重量が 1 tf (直径 50 cm), 3 tf および 5 tf (いずれも直径 100 cm) の 3 タイプの重錘を各版厚毎に対応させて載荷している. 1 tf の重錘の場合には底部高さ 10 mm 部を, また 3tf, 5tf の重錘の場合には 17.5 cm 部を球状にし, 出来るだけ片当たりを防ぐようにし

表一2 配筋量の一覧

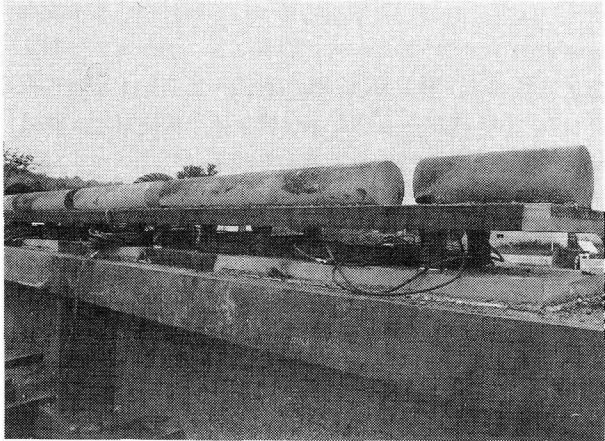
試験体名	かぶり (cm)	主筋		配力筋	
		呼径	配筋比 (%)	呼径	配筋比 (%)
D25-0.5 S,W	6	D16	0.52	D10	0.13
D50-0.5 S,W	8	D22	0.46	D16	0.16
D50-1.0S	8	D32	0.95	D19	0.23
D75-0.5S	10	D29	0.49	D22	0.20
As25-0.5W	6	RA15S	0.45	RA11S	0.15
As50-0.2W	8	RA15S	0.20	RA15S	0.13
As50-0.6W	8	RA15S (3本束)	0.61	RA15S	0.13



図一1 試験体の寸法および測定位置



写真一1 実験の全景



写真一2 支点部の状況

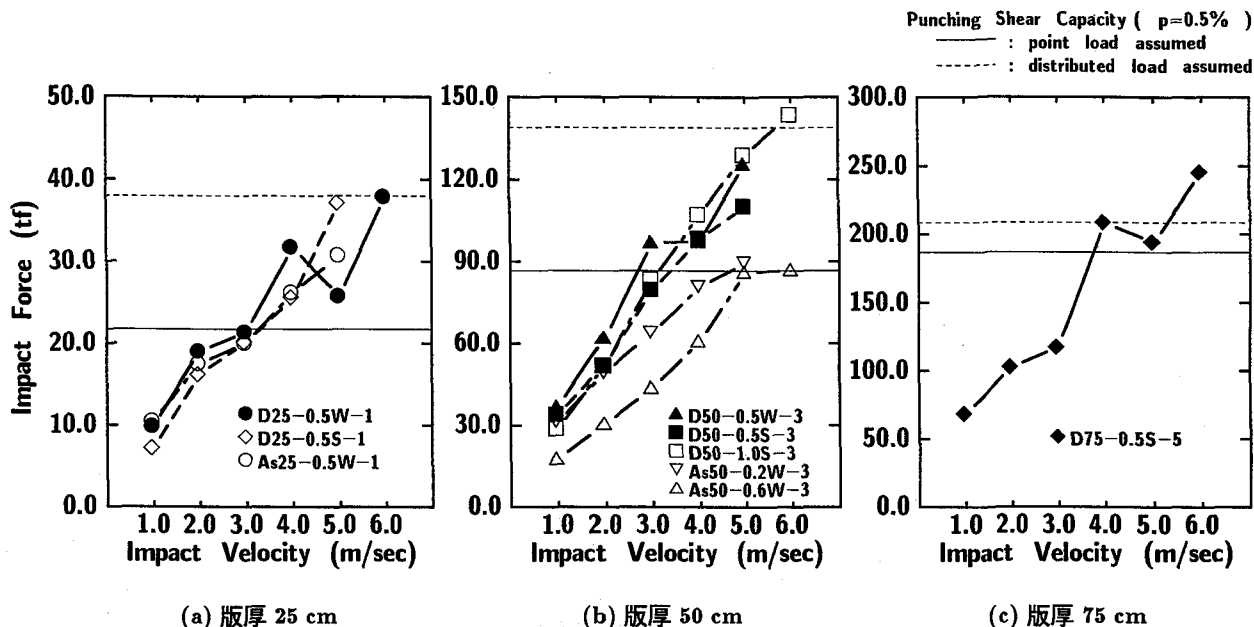


図-2 重錘衝突速度と最大重錘衝撃力の関係

ている。また、重錘内部には重錘衝撃力を算定するために、いずれの重錘に対しても容量 1,000 G および容量 500 G の歪ゲージ型の加速度計を 4 個設置している。

写真-1, 2 は北海道開発局開発土木研究所の屋外実験場における実験状況を示している。写真-1 は実験の全景である。なお、写真に示されている試験体は版厚が 50 cm、重錘重量は 3 tf である。また、写真-2 は支点部に設置した衝撃荷重測定用ロードセルおよび回転支持用の鋼棒の設置状況を示している。

RC 版の裏面には載荷点直下より片側対称軸線上に応答変位および残留変位量を測定するためのレーザ式非接触型変位計を 9 個設置している (図-1 参照)。本実験では、載荷点近傍部の最大残留変位量が 20 mm 程度 (純スパンの 1/200 程度) に達した状態を破壊と定義し、版厚 25 cm については 1 tf、50 cm については 3 tf、75 cm については 5 tf の重錘を用い、重錘の載荷速度を $V = 1$ m/sec から RC 版が破壊に至るまで、1 m/sec 刻みで増加させる繰り返し荷重載荷を行った。

なお、重錘に取り付けられている加速度計、支点に設置されているロードセルおよびレーザ式非接触型変位計からの出力波形は高帯域用データレコーダに一括収録している。各波形は、比較的長い減衰自由振動を示すことより全てサンプリングタイム 0.5 msec で 1 sec 間だけ A/D 変換した。A/D 変換された各デジタル波形は、数値的に 25 データの矩形移動平均を施すことによりノイズを除去している。この矩形移動平均は 80 Hz のローパスフィルター処理に対応しているものと判断される。

また、重錘加速度波形はいずれも類似の性状を示していることを確認している。重錘衝撃力算定のための最大加速度値は 4 データを平均して評価した。

3. 実験結果および考察

3.1 最大重錘衝撃力と最大合支点反力

図-2 に繰り返し荷重載荷時の各版厚毎の重錘衝突速度と最大重錘衝撃力の関係を示す。図より、最大重錘衝撃力は総じて版厚、補強筋比および配筋材料に関わらず重錘の衝突速度の増大とともにほぼ線形に増加していることがわかる。また、重錘衝撃力は版厚によりその大きさが異なるものの、同一の版厚に対しては As50-0.6W の試験体を除き補強筋材料や配筋比に関わらず類似の分布性状を示していることがわかる。これより、本実験の範囲 (配筋比が最大 1.0% 程度) では、最大重錘衝撃力は補強筋材料や配筋比よりもコンクリート版の厚さ (剛性) に依存しているものと考えられる。

図-3 に重錘衝突速度と最大合支点反力との関係を示す。図より、版厚 25 cm (D25-, As25-) における最大合支点反力は載荷速度が $V = 3$ m/sec 以内では載荷速度に比例して増加しているが、 $V = 3$ m/sec 以上では増加せず 25 tf 以下の値となっている。これは、衝撃荷重が載荷速度にほぼ比例して増加するものの、RC 版の損傷程度が大きくなる載荷速度 $V = 3$ m/sec 以上の場合には、増分衝撃エネルギーが全て RC 版の損傷によって吸収され、支点部に伝達されないことを示しているものと考えられる。

一方、版厚が 50 cm (D50-, As50-) の場合には、支点反力は重錘衝撃力に比較して小さな値となっているが、最終載荷速度まで載荷速度にほぼ比例して増加している。このことから最大合支点反力は重錘衝撃力と同様各試験体での分布性状にさほど大きな差がみられず、いずれもほぼ線形に分布していることがわかる。また、版厚 75 cm (D75-) の場合にも支点反力は重錘衝撃力よりも小さ

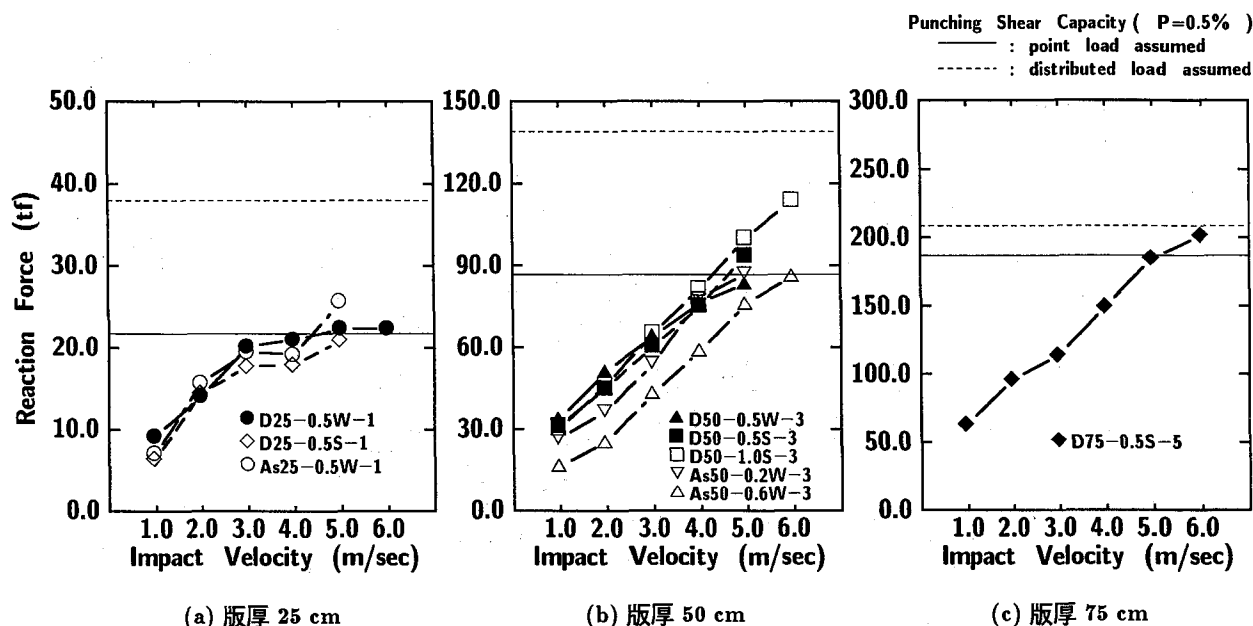


図-3 重錘衝突速度と最大合支点反力の関係

表-3 各最大衝撃力と耐力

試験体名	最大载荷速度 (m/sec)	実験結果		数値計算結果		
		最大衝撃力 (tf)		曲げ耐力 (tf)	押抜きせん断耐力 (tf)	
		重錘衝撃力	支点反力		点载荷仮定	円形状载荷仮定
D25-0.5S-1	5	37.0	20.9	21.7	21.7	37.9
D25-0.5W-1	6	37.9	22.4	26.2	21.7	37.9
D50-0.5S-3	5	110.1	93.8	94.1	86.5	138.8
D50-0.5W-3	5	125.7	74.4	101.3	86.5	138.8
D50-1.0S-3	6	143.5	113.9	185.9	107.1	171.9
D75-0.5S-5	6	245.1	201.7	241.2	186.2	208.1
As25-0.5W-1	5	30.7	25.7	47.3	21.1	36.9
As50-0.2W-3	5	89.5	97.6	170.4	70.6	113.3
As50-0.6W-3	6	87.0	86.1	310.7	91.8	147.4

* D50-0.5W の静的耐力 : 110.2 tf (破壊性状 : 押抜きせん断型)

な値となっているが、载荷速度に比例したほぼ線形な分布であることがわかる。これより、版厚 50 cm 以上の場合の動的最大合支点反力は、最大重錘衝撃力と同様に補強筋材料や補強筋版厚（剛性）よりもコンクリートの剛性に強く影響されているものと考えられる。

3.2 各最大衝撃力と耐力

実験は前述のように载荷点部の残留変形量が純スパンの 1/200 程度に達した時点で試験体が破壊に至ったと仮定して終了している。また、3.4 に示す各 RC 版裏面のひびわれ状態より、いずれも初期に曲げによるひびわれが発生し、最終段階では载荷点を中心とする同心円状の押抜きせん断型のひびわれが発生していることがわかる。従って、ここでは特に押抜きせん断耐力と、最大重錘衝撃力および最大合支点反力との関係について検討を

行うものとする。

押抜きせん断耐力評価に関しては、重錘の底部形状が球状となっていること、および桁高と純スパン長が本 RC 版と同一の RC 梁に関する重錘落下衝撃実験⁵⁾による破壊モードが重錘直径程度の押抜きせん断型であったことを参考にして、以下の 2 ケースに関して評価することとした。すなわち、

- 1) 衝撃荷重が点载荷状態であると仮定し、破壊形状が半開角 45° の円錐状であると仮定する場合、
- 2) 衝撃荷重が重錘径と同一の円形状载荷状態であると仮定し、破壊形状が同一径の円筒状と仮定する場合、

である。各ケースの耐力評価式には土木学会コンクリート標準示方書⁶⁾に規定されている静的な押抜きせん断耐

力評価式を用いることとし、As 試験体の耐力は AFRP ロッドを鉄筋と同様に扱って算定している。

表-3, および図-2, 3 中に上記 2 ケースに関する数値計算結果を示している。表には参考のために RC 版を一方向版とした場合の曲げ耐力を示している。なお、曲げ耐力は断面分割法を用いて算定している。断面分割法は実測のコンクリート強度および鉄筋の規格値を基にほぼ同様な解が得られる分割数以上とし、5 mm 厚の 50 分割以上で計算した。表-3 から明らかなように、いずれの RC 版の曲げ耐力も点載荷仮定時の押抜きせん断耐力と等しいか (D25-0.5S のみ)、それより大きいものとなっている。よって、本研究では設計上重要となるせん断耐力についてのみ言及することとする。また図-2, 3 には、比較のために配筋比 0.5 % の場合における押抜きせん断耐力を示している。

(1) 最大重錘衝撃力と耐力

最大重錘衝撃力と各押抜きせん断耐力を比較すると、版厚 25 cm (D25-, As25-) の場合に関しては As25- が点載荷と円形状載荷仮定時の両せん断耐力値の中間的な値になっているが、他 D25- は単筋、複筋配置とも円形状載荷を仮定する場合のせん断耐力値に近い値になっている。

版厚 50 cm に関しては、As50- の実験結果は 0.2W, 0.6W とともに点載荷を仮定するせん断耐力値とほぼ等しくなっている。これは、AFRP ロッドを配力筋として用いる場合には、異形鉄筋を用いる場合の 1/2 以下の配筋量でも同程度の耐力を確保することができることを示している。また、D50-1.0S の場合は、円形状載荷を仮定するせん断耐力値に近い値を示している。ただし、この値は表-3 に示されているように配筋比 1.0 % を考慮して算定した点載荷と円形状載荷仮定時のせん断耐力の中間的な値になっていることがわかる。他の各 RC 版は点載荷および円形状載荷仮定に基づく両せん断耐力値の中間的な値を示していることがわかる。

版厚 75 cm (D75-) において、点載荷と円形状載荷を仮定する場合の差は版厚が厚いため 20 tf 程度と小さい。実験結果は若干円形状載荷を仮定する場合よりも大きめの値となっているが、本算定結果は比較的よく近似しているものと判断される。

(2) 支点反力と耐力

ここでは支点反力と押抜きせん断耐力の算定値について比較する。D25-, As25- に関しては、載荷速度が $V = 3 \text{ m/sec}$ までは載荷速度に比例してほぼ線形に支点反力が増加しているが、 $V = 3 \text{ m/sec}$ 以上ではほぼ一様な状態となっており、最終的には点載荷を仮定した場合の押抜きせん断耐力値に近い値で破壊していることがわかる。これは、前述のように重錘衝撃力が最終載荷速度までほぼ線形に増加していることから、版厚が薄いため載荷速度 $V > 3 \text{ m/sec}$ では増分入力エネルギーが全て曲げによる損傷に費やされるものの破壊に至らず、やがて押抜

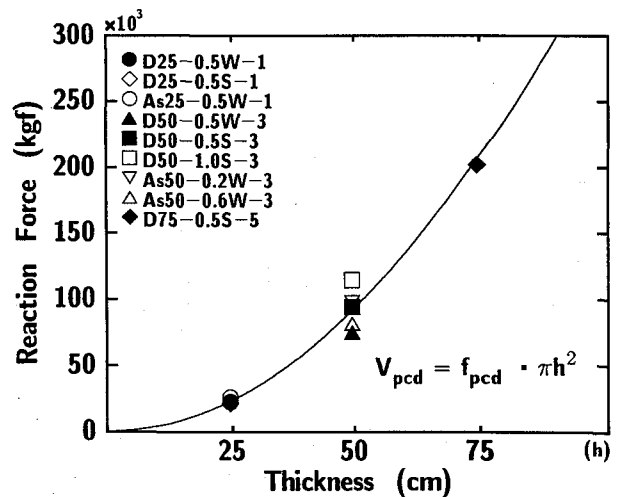


図-4 最大合支点反力と耐力評価式の関係

きせん断型の破壊に至るためと考えられる。

版厚 50 cm (D50-, As50-) の場合には、最大合支点反力は載荷速度に比例してほぼ線形的に増加を示しているものの、重錘衝撃力の値よりも低下しており、版厚 25 cm と同様点載荷を仮定する場合の押抜きせん断耐力値に近い値になっていることがわかる。なお、D50-0.5W の静的押抜きせん断耐力の実測値は 110.2 tf で、点載荷、円形状載荷仮定時の両押抜きせん断耐力の値 (86.5 ~ 138.8 tf) のほぼ中間的な値となっていることがわかる。また、この実測値は表-3 より最大合支点反力 (74.4 tf) と重錘衝撃力 (125.7 tf) の間に位置することもわかる。

版厚 75 cm (D75-) の場合には、最大合支点反力は点載荷と円形状載荷を仮定する場合の中間的な値になっている。

(3) 耐力評価式

前節の考察より最大合支点反力および最大重錘衝撃力がコンクリートの剛性に最も強く影響されていることが明らかになっている。また、各版厚において最大重錘衝撃力は最大合支点反力よりも大きい。これらの実験結果に基づき点載荷を仮定し版厚全体に渡って円錐型のせん断コーンが発生するものとして、押抜きせん断耐力式を安全側に評価することを試みる。

いま、補強筋の効果を無視し、仮定に即して押抜きせん断耐力に関する定式化を行い、コンクリートの押抜きせん断強度 f_{pcd} のみを最大合支点反力に関する実験結果を用いて最小自乗法により決定すると、

$$V_{pcd} = f_{pcd} \cdot \pi h^2 \quad (\text{kgf}) \quad (1)$$

$$f_{pcd} = 11.6 \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (2)$$

として示される。式 (2) は示方書におけるコンクリートの押抜きせん断強度に対応するものである。この値は $f'_{cd} = 240 \text{ kgf/cm}^2$ とすると、コンクリート標準示方書式 (6.3.9) から求められる $f_{pcd} = 9.28 \text{ kgf/cm}^2$ の 1.25 倍

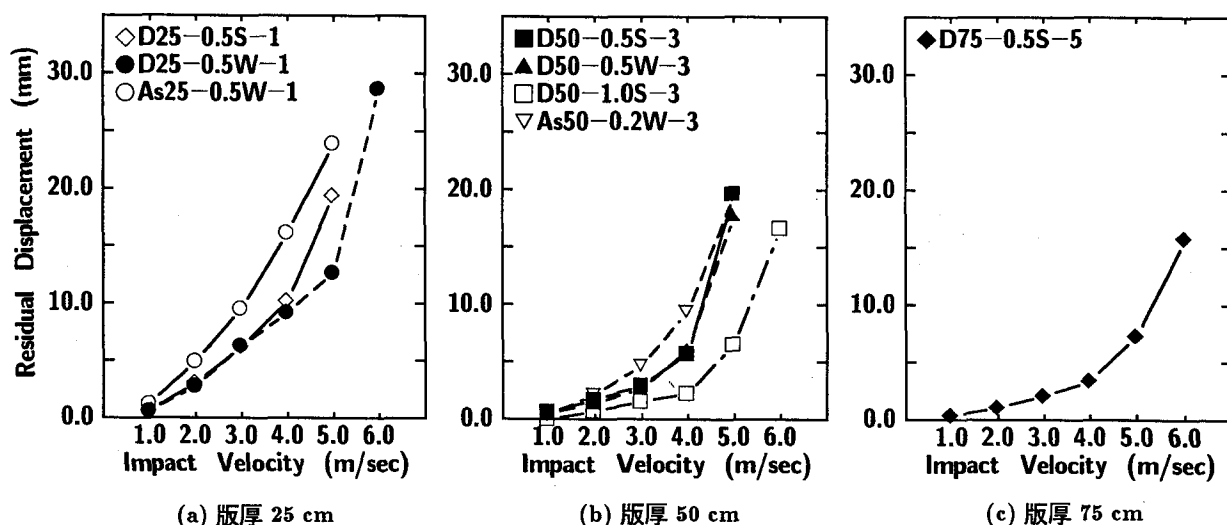


図-5 累積残留変形量と載荷速度の関係

の大きさになっていることがわかる。図-4 に最大合支反力に関する実験結果と式 (1) を比較して示している。図より、本研究で採用したような大型 RC 版の場合には、0.5 ~ 1 % 程度の配筋比の違いは動的せん断耐力に著しい影響を与えないことがわかる。

以上の結果を総括して考えると、本実験のように重錘底部が球状になっている場合で、かつ配筋比が最大 1 % 程度である RC 版の耐力は、補強筋の効果は無視できること、また円形状載荷を仮定する場合よりも点載荷を仮定する場合の押抜きせん断耐力に近似していることがわかる。従って、衝撃荷重載荷時の配筋比 1 % 程度の RC 版の押抜きせん断耐力は点載荷を仮定する土木学会コンクリート標準示方書の静的な押抜きせん断耐力評価式か、同様に点載荷を仮定して、補強筋の効果は無視しコンクリートの押抜きせん断強度と全版厚のみを考慮して得られた評価式 (1) を用いることによって安全側で評価が可能であるものと考えられる。なお、本評価式は繰り返し荷重載荷実験の結果に基づいて求められたものである。しかしながら、最終載荷速度と同一の載荷速度を有する単一載荷に対しては、入力エネルギーの観点からも安全側の評価を与えるものと推察される。

3.3 載荷点下の残留変形量

図-5 に載荷点下の累積残留変形量を載荷速度を横軸にとって各版厚ごとに整理している。D25-の実験結果は、最終載荷速度の 1 つ前までの残留変形の分布が載荷速度にほぼ比例して増加しているが、最終載荷速度で急激に増加しており、この様子からも押抜きせん断破壊に至った状況が観察できる。一方、As25-の場合の残留変形量は載荷速度に対して最終段階まではほぼ線形に増加しており、D25-の分布特性と異なった特性を示している。これは、AFRP ロッドの高弾性伸び特性によって載荷点近傍部の補強筋がまだ弾性域内にあるために、曲げの状態で破壊時の残留変形値に達したことを意味し

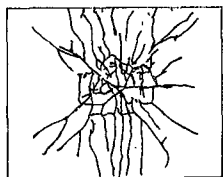
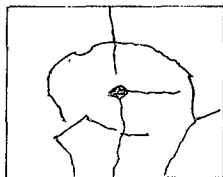
ているものと考えられる。

版厚 50 cm の場合では、配筋量の増大に伴って残留変形量が小さくなっていることがわかる。また補強筋比が同じ 0.5 % の 2 つの試験体において、単筋配置 (0.5S) と複筋配置 (0.5W) による差がほとんどなく、D25 の場合と同様に最終載荷速度時における残留変形量の増加勾配が急激に大きくなっていることより、これらの RC 版の破壊形態が押抜きせん断型であることを暗示している。一方、As50-0.2W の場合は D50-0.5S および -0.5W に比較して残留変形量の増加率が載荷速度とともに大きくなっているが、最終載荷時には D50- と類似の残留変形量を示している。これは AFRP ロッドの高弾性伸び特性が発揮されてはいるものの、版厚が厚いため載荷速度 $V \geq 4$ m/sec で破壊形態が押し抜きせん断型に移行したためと考えられる。また、As50-0.2W の配筋比は 0.2 % で、D50-0.5S、-0.5W と比較して 1/2 以下であるが、その動的耐力が他の D50- と比較して同等であることにより、衝撃荷重載荷時には AFRP ロッドの高弾性伸び特性が十分に発揮されていることがわかる。一方、D50-1.0S は載荷速度が $V = 4$ m/sec までは他の D50-0.5S/W、As50-0.2W に比べて残留変形量が少なく、補強筋の残留変形量を抑制する効果が認められる。ただし、 $V = 5 \sim 6$ m/sec 載荷で残留変形量は急増している。

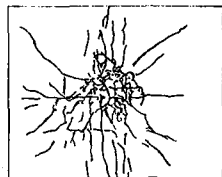
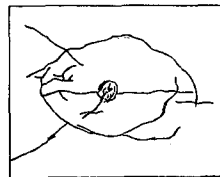
版厚 75cm の場合も、載荷速度が $V = 4$ m/sec までは残留変形量が載荷速度に線形に比例している。それ以上の場合には載荷速度とともに残留変形量の増加率も増加し、やがて破壊に至っている。

以上より、版厚によらず載荷速度が小さい場合には残留変形量が載荷速度にほぼ比例しており、曲げが卓越しているものと考えられる。載荷速度の大きい場合には残留変形量の増加率が大きくなって破壊に至っており、変形モードが曲げ型から押抜きせん断型に移行しているものと考えられる。

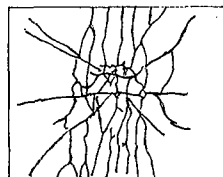
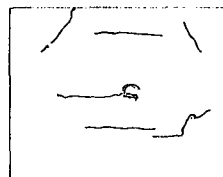
D25-0.5S-1
最大載荷速度 5 m/sec



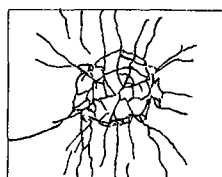
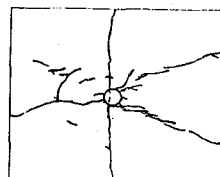
D25-0.5W-1
最大載荷速度 6 m/sec



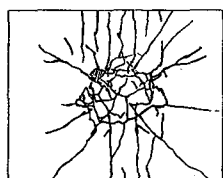
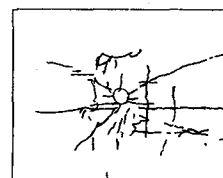
As25-0.5W-1
最大載荷速度 5 m/sec



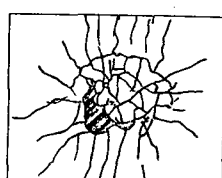
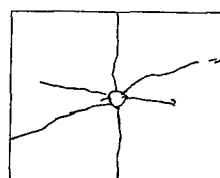
D50-0.5S-3
最大載荷速度 5 m/sec



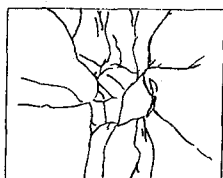
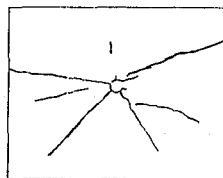
D50-0.5W-3
最大載荷速度 5 m/sec



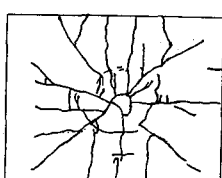
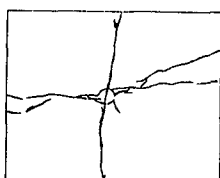
D50-1.0S-3
最大載荷速度 6 m/sec



As50-0.2W-3
最大載荷速度 5 m/sec



D75-0.5S-5
最大載荷速度 6 m/sec



表面

裏面

表面

裏面

図-6 ひびわれ性状

3.4 ひびわれ性状

実験終了後の As50-0.6W を除く各試験体のひびわれ性状を図-6 に示す。用いた重錘の重量や大きさおよび最大載荷速度が異なるため、全試験体を同一の尺度で比較することができないことより各版厚毎にひびわれ特性を述べることにする。

版厚 25 cm の D25-0.5S, -0.5W, As25-0.5W で比較すると、いずれも表面のひびわれは軽微である。特に As25 は載荷点に局部的ひびわれがみられるほか、発生しているひびわれは最も少なく、D25 にみられる円形状のひびわれが生じていない。D25 では 0.5W が最大載荷速度が大きいこともあり、やや損傷の程度が大きい。

裏面のひびわれ性状を比較すると、D25-0.5W では曲げによるひびわれが他と比べて少ないことがわかる。また、載荷点直下の押抜きせん断によるコンクリートの剝落は D25-0.5W が最も顕著であり、As25-0.5W では円形状のひびわれは明瞭には発生していない。

版厚 50 cm の試験体では D50-1.0S のみ最大載荷速度

が $V = 6 \text{ m/sec}$ であり、他は $V = 5 \text{ m/sec}$ である。D50-0.5S と -1.0S の表面には顕著な曲げひびわれが版中央全面に発生しているが、D50-0.5W と As50-0.2W にはこの種の曲げひびわれは発生していない。D50-0.5W と As50-0.2W は比較的類似したひびわれパターンを示しているが、D50-0.5W はひびわれが多数発生している。一方、裏面のひびわれ性状を比較すると、D50-0.5W と D50-1.0S には曲げひびわれと押抜きせん断によるひびわれが発生し、特に押抜き面のコンクリートの一部が剝落している。D50-0.5S にも明瞭な押抜きせん断断面の形成が見受けられるが、コンクリートの剝落はみられない。一方、As50-0.2W は曲げおよび押抜きせん断によるひびわれ本数が最も少なく、損傷の程度は最も軽微である。

75 cm 版厚は一体のみであり比較対象の RC 版がないが、最大載荷速度が同様な D25-0.5W, D50-1.0S と比較すると損傷は最も軽微であり、版厚の効果が認められる。

表面のひびわれ性状を要約すると、D25-0.5S, D50-0.5S,

-1.0S および D75-0.5W において版中央に明瞭な曲げひびわれがみられ、裏面にも多数の曲げひびわれが発生していることから、このひびわれは版全厚にわたって貫通していることがわかる。他方、AFRP ロッドを用いた版には明瞭な曲げひびわれはみられず、また、D25-0.5W および D50-0.5W の複筋配置した版にも曲げひびわれはみられない。なお、D25- にのみ円形状の押抜きせん断型のひびわれが発生している。

裏面のひびわれ性状を要約すると、全試験体で両支点に平行に曲げひびわれが多数発生し、その他 4 隅に伸びるひびわれと押抜きせん断による同心円状のひびわれが発生している。また、押抜きせん断によって As25、As50 および D75 を除く試験体で裏面剝離が生じている。

以上から、RC 版の損傷度を少なくするという観点からは、AFRP ロッドで補強することや版厚を厚くすることが効果的である。また、曲げひびわれを版厚全体に貫通させないためには単筋配置よりも複筋配置の方が効果的であることがわかる。

4. まとめ

RC 版の耐衝撃性を検討することを目的として、純スパン、幅がそれぞれ 4 m の大型 RC 版モデルを版厚、補強筋の種類、補強筋比および配筋方法を変化させて作製し、重錘落下による衝撃実験を行った。本実験の範囲内で得られた結論を要約すると、

- (1) 最大衝撃力および最大合支点反力は、補強材料の特性や配筋比および配筋方法に関わらず、コンクリートの版厚（剛性）に顕著に影響されて励起されるものと考えられる。
- (2) 衝撃荷重載荷に対する配筋比 1 % 程度の大型 RC 版の押抜きせん断耐力は、土木学会コンクリート標準示方書あるいは RC 版の動的押抜きせん断破壊時のコンクリートのせん断強度と全版厚のみを考慮して評価した押抜きせん断耐力評価式を用いることによって安全側で評価することができるものと考え

られる。

- (3) 本評価式は繰り返し荷重載荷実験結果に基づいて求められたものである。入力エネルギーの観点から、最終載荷速度と同一の載荷速度を有する単一載荷に対しても、本評価式は安全側の評価を与えるものと推察される。
- (4) 破壊の性状はいずれも載荷速度が小さい初期の段階では曲げが卓越するが、載荷速度が大きくなるとともに押抜きせん断型に移行して破壊しているようである。
- (5) RC 版の損傷を軽減するためには、AFRP ロッドで補強することや版厚を厚くすることが効果的である。

最後に、本研究を行うに当たり、室蘭工業大学大学院生小番一広君を始めとする構造力学講座の諸君に多大なる支援を戴きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧，日本道路協会，1983.
- 2) 構造工学シリーズ 6，構造物の衝撃挙動と設計法，土木学会，1993.
- 3) 中野修，今野久志，岸徳光，三上浩，遠藤紘：各種緩衝構造を用いた落石覆工の実証実験，第 2 回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集，pp.230～235，1993.6.
- 4) 菅田紀之，岸 徳光，中野 修：RC 落石覆工の衝撃応答解析と断面力算定に関する一考察，土木学会論文報告集，No.495/I-28，pp.73～82，1994.7.
- 5) 岸徳光，佐藤昌志，西弘明，三上浩：低速度衝撃を受ける大型 RC 梁の耐衝撃性に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，No.2，pp.779～784，1996.
- 6) コンクリート標準示方書，平成 3 年版，設計編，土木学会，1986.

(1996 年 9 月 6 日 受付)