

衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート版の 実験的研究について

An Experimental Study of Reinforced Concrete Plate Under Impact Load

吉田 紘一* 佐藤 睦治** 千葉 利則**

本研究は、鉄筋コンクリート (RC) 版が衝撃荷重を受ける場合の応答性状や破壊機構を
 解明するために基礎的な実験を行い、衝撃荷重を受ける RC 版の設計方法の確立に役立て
 ようとするものである。実験は主筋方向スパンおよび鉄筋量の異なる 4 種類の RC 模型版
 を対象に、重錘落下による衝撃荷重を作用させ重錘の加速度、RC 版の鉄筋のひずみなど
 の計測および RC 版下面コンクリートの破壊形状の目視などを行い、その結果から衝撃時
 における応力性状や破壊機構の検討を行った。この結果、鉄筋量の多い版は相対的に受け
 ける衝撃が大きく、衝撃に対する強さも大きい。また、スパンの長い版は相対的に受け
 ける衝撃力は小さいが、衝撃に対する強さも小さい。また、配筋鉄筋は主に RC 版が破損した後
 の衝撃荷重に対する版の粘りに影響すると考えられる。さらに鉄筋量の少ない版では、相
 対的に鉄筋に生ずるひずみが大きくその分布の範囲も狭いこと、またスパンの長い版は、
 ひずみは大きいが動的倍率は小さいなどの結論を得た。

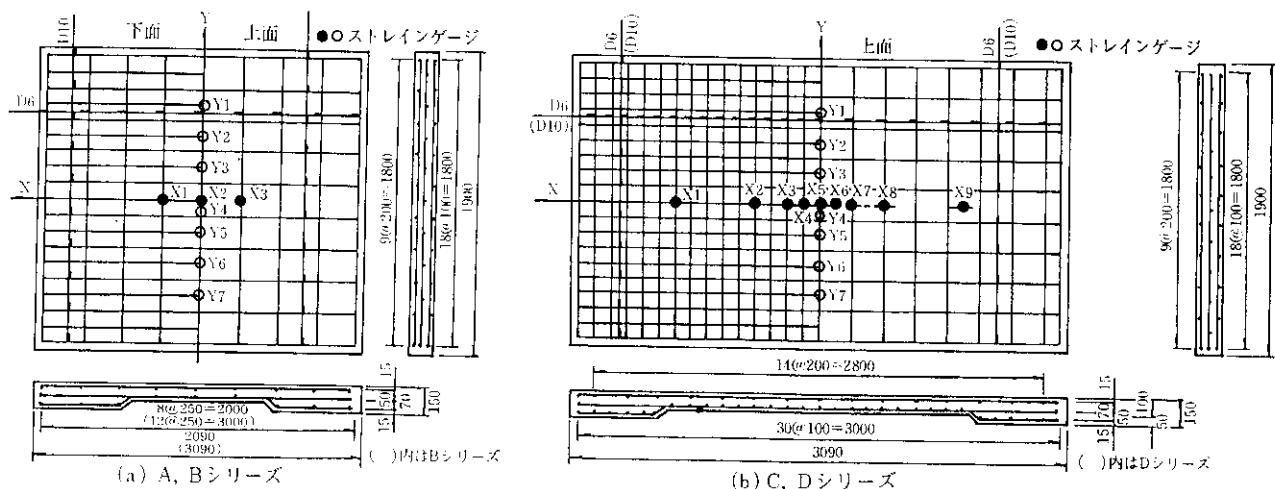
《衝撃荷重；衝撃；鉄筋コンクリート；動的倍率》

1. ま え が き

土木構造物において、橋梁の床版や落石を受けるシェ
 ルターなどのように設計上、衝撃荷重を考慮しなければ
 ならない鉄筋コンクリート (RC) 構造物は少なくない。
 しかしながら、衝撃荷重を受ける RC 版の設計方法は十
 分に確立されていない。これは、RC 版が衝撃荷重を受

けた場合の応答性状や破壊機構が複雑であり、解析的に
 も実験的にも研究が進められてはいるが、いまだ不明な
 点は多い。特に RC 構造は、鉄筋とコンクリートの材料
 特性が異なるなどさらに問題を複雑にしている。

本研究では、以上の課題をふまえて基礎的な研究として
 鉄筋コンクリート版の供試体に垂錘落下による衝撃荷重



図一 供試体の配筋とストレインゲージの位置

*構造研究室長 **同室員

表-1 供試体の概要

シリーズ	供試体	主筋方向スパン (cm)	鉄筋呼び径		鉄筋比 P (%)	
			主鉄筋	配力筋	主鉄筋	配力鉄筋
A	A-1	100	D10	D 6	(圧) 0.42	(圧) 0.15
	A-2				(引) 0.84	(引) 0.15
B	B-1	200	D10	D 6	(圧) 0.42	(圧) 0.15
	B-2				(引) 0.84	(引) 0.15
	B-3				(引) 0.84	(引) 0.15
C	C-1	200	D 6	D 6	(圧) 0.19	(圧) 0.19
	C-2				(引) 0.37	(引) 0.37
	C-3				(引) 0.37	(引) 0.37
D	D-1	200	D10	D10	(圧) 0.42	(圧) 0.42
	D-2				(引) 0.84	(引) 0.84

(圧): 圧縮側, (引): 引張側

を作用させ、その結果から衝撃時における応力状態、破壊形状などについて実験的な検討を行っている。特に今回は、静的載荷との挙動の対比、さらに主筋方向のスパンや鉄筋量の影響について実験を行ったのでそれらを報告する。

2. 実験概要

2.1 鉄筋コンクリート版 (供試体)

供試体は主筋方向スパンの異なる A, B シリーズ (図-1(a)) と鉄筋量の異なる C, D シリーズ (図-1(b)) の 4 種であり、支持条件は相対する 2 辺を固定、他辺を自由とした。また、供試体の主筋 (X 方向とする) と配力鉄筋 (Y 方向) の引張側鉄筋には、図-1 に示す位置にストレインゲージを貼布した。なお、供試体の概要を表-1 に示す。

2.2 静的実験

衝撃実験に先立ち静的載荷実験を実施した。実験は静的載荷試験装置 (最大荷重 100 トン) を使用し、油圧ジャッキに衝撃実験用重錘を取付けて供試体中央部に載荷した。なお、荷重は供試体の応力が弾性域内となるように $P=1000 \text{ kgf}$ までを 2~3 回加え、鉄筋のひずみをスイッチボックスを介し静ひずみ測定器で測定した。

2.3 衝撃実験

静的実験を終了した供試体で衝撃実験を行った。実験は図-2 に示すように、加速度計 (容量 200 G, 最大周波数 1.2 kHz) を取付けた重量 100 kgf の重錘を供試体中央部に落下高 10~160 cm まで 10 cm 間隔で落下させて

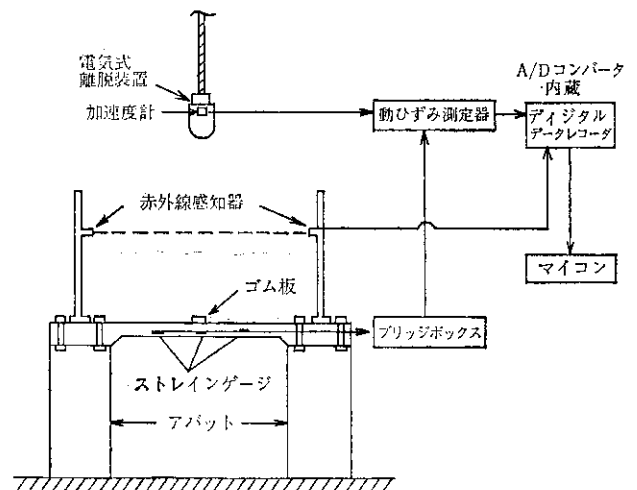


図-2 衝撃実験の概要

衝撃荷重とした。また、載荷位置に $100 \times 100 \times 3 \text{ mm}$ のゴム板を設置して緩衝材とした。また、加速度とひずみの測定は動ひずみ測定器を介し、赤外線感知器を用いて自動的に A/D 変換を開始し、デジタルデータレコーダに記録した後、マイコンで波形処理した。なお、A/D 変換器のサンプリングタイムは 20 kHz とした。

3. 実験結果と考察

3.1 加速度とひずみの実測例

衝撃実験の結果、得られた重錘の衝撃加速度 (α) と衝撃による鉄筋のひずみ (X1~X7, Y1~Y6) の実測例を図-3 に示す。図-3 において、衝撃が作用してから直後に最大となる値 (図中○印) を最大値とした。同図が

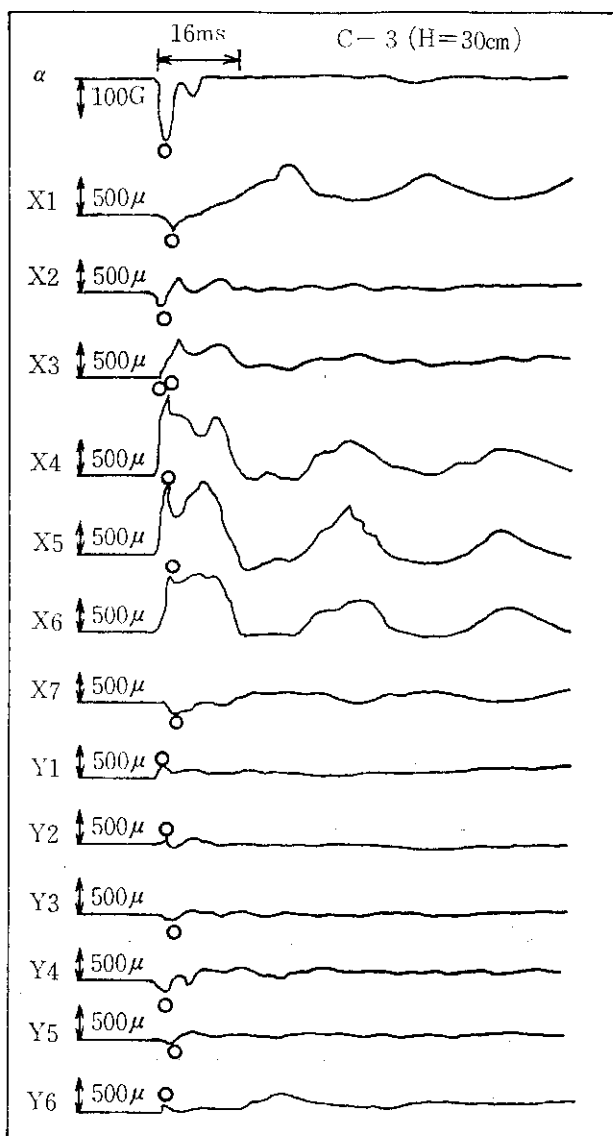


図-3 加速度とひずみの実験例

ら、加速度は最初 4.0 ms ほどの間で鋭く立上がり、もう 1 回小さく立上がってゼロになる。また、ひずみは衝撃直後は鋭く立上がるが、一定の時間以後は自由振動で正弦波に近い波形となる。特に載荷点付近のひずみ (X4, X5, X6) は他のそれより絶対値、作用時間とも大きくなっていることがわかる。

以下の記述では加速度、ひずみとも最大値で説明する。

3.2 落下高と衝撃加速度

3.1 で求めた衝撃加速度の最大値 ($\alpha_{\max}$) と落下高 (H) の関係を図-4 に示す。図中の実線と点線は、それぞれ A, B シリーズと C, D シリーズの各供試体におけるおおむね落下高と衝撃加速度との関係を表わす曲線である。

図-4(a) より $\alpha_{\max}$ は、A, B シリーズとも落下高 50 cm 前後で極大になっているが、その値は主筋方向スパンの

長い B シリーズの方が約 50 (G) 小さく、さらに落下高が増加してもその差は変わらない。この場合、主筋方向スパンが 2 倍になると衝撃加速度は約 3 割小さくなった。また、図-4(b) より落下高 40 cm までは C, D 両シリーズに大差ないが、極大点付近から鉄筋量の少ない C シリーズの方が約 20 (G) 小さく、さらに落下高が増加してもその差は変わらず、この場合も鉄筋量が約 1/2 になると曲げ剛性が小さいために、衝撃加速度は 2 割小さくなった。

以上のことから、主筋方向スパンが長い供試体または鉄筋量の少ない供試体の方が、衝撃加速度が小さいことがわかった。

また、図-4 から図-5 のようなより一般的な模式図が推定できる。これはまた、写真-1 に示すように衝撃を受けた RC 版下面の破壊にいたる過程とよく一致している。すなわち、その過程は 4 段階に区分でき、図-5 より

- (a) 区間：版中央部を発生源とした放射状の微小クラックが発生する ($H=40$ cm まで)。
- (b) 区間：衝撃加速度が極大となり、円形状の大きなクラックが発生する ($H=50\sim60$ cm)。
- (c) 区間：コンクリートが剥離して RC 版としての機能が失われ、鉄筋のみで剛性を保っている状態 ($H=70\sim120$ cm)。
- (d) 区間：RC 版としては完全に破壊した状態 ($H=130$ cm～)。

以上のことから、RC 版の衝撃に対する強さを区間 (b) とすることができ、今回の実験ではその強さは図-4 より、B シリーズより A シリーズが、また C シリーズより D シリーズの方が大きいことがわかった。また、区間 (c) が長いほど破壊後の粘りのある版と考えられる。

3.3 落下高と衝撃によるひずみ

図-6 に、衝撃実験で得られた落下高 (H) と衝撃によるひずみの最大値 ($\epsilon_{\max}$) の関係を示す。図-6(a) で載荷点付近のひずみ (X4, X5, X6) は落下高 50 cm までは線形的に増加しているが、それ以降は急増する。これは前述 3.2 の (c) 区間、すなわち衝撃加速度が極大を過ぎて RC 版が破壊し始めるときに、衝撃を鉄筋のみで受けていることを示している。また、図-6(b) においても載荷点付近のひずみ (Y4) は落下高 80 cm から急増している。

以上のことから、RC 版の破壊が始まった後は、配力鉄筋で衝撃荷重を受け持つ割合が増加していることを示している。すなわち、配力鉄筋は版の粘りに関係していると考えられる。

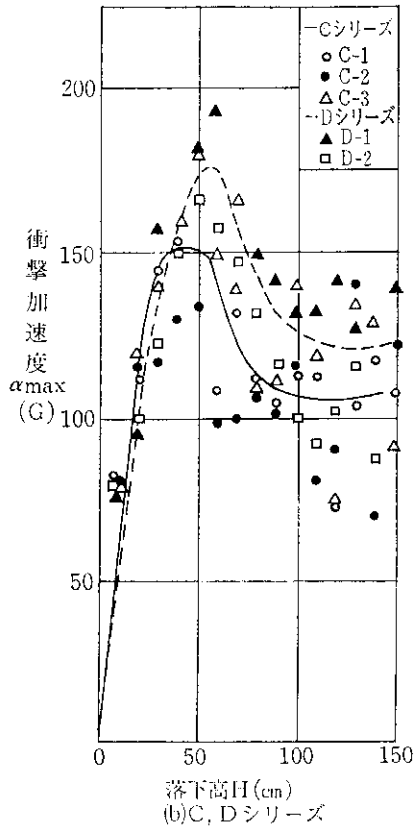
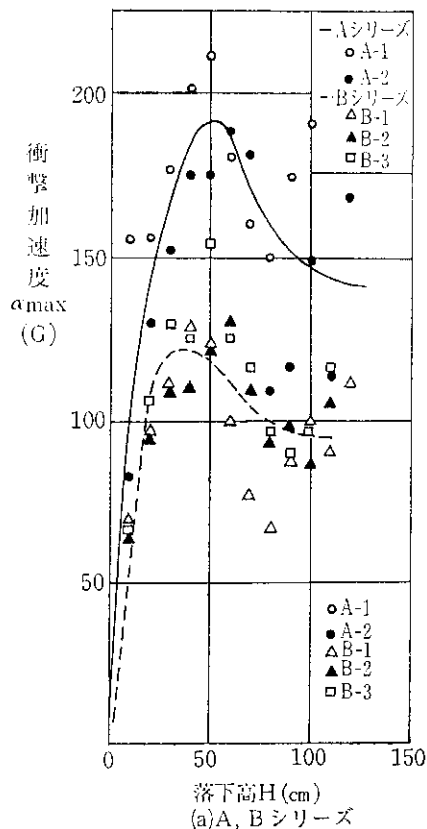


図-4 落下高と衝撃加速度

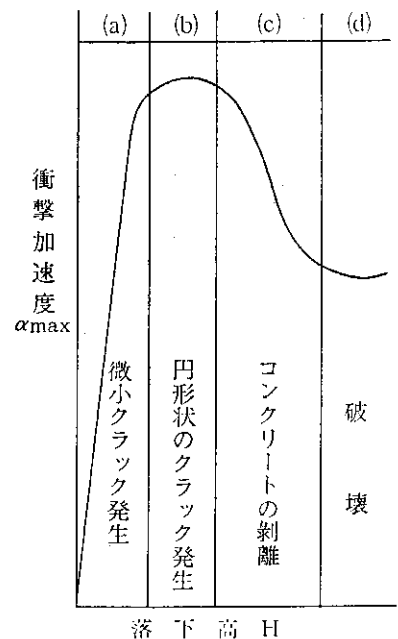


図-5 破壊にいたる過程

3.4 静的ひずみとの対比

一般に重錘落下による衝撃荷重は、衝撃加速度 ($\alpha_{\max}$) に重錘の重量を乗じて求められる。ここでは、衝撃によるひずみと静的ひずみを対比するために、衝撃荷重を静的荷重 ($P=1000 \text{ kgf}$) に換算したときのひずみ (衝撃ひずみと称す) を図-7に示す。なお、衝撃ひずみの落下高はRC版が破壊しない範囲の40 cmまでとし、静的・衝撃ひずみとも各シリーズの平均値を示した。また、衝撃ひずみ ε_d と静的ひずみ ε_s の比 ($\varepsilon_d/\varepsilon_s$) を動的倍率とした。

図-7(a)より主筋方向のひずみの場合、Aシリーズでは動的倍率が2倍となるが、Bシリーズでは1倍に近い値となった。これは主筋方向スパンの長いBシリーズの場合、版の慣性力の影響が大きくなるために動的倍率が小さくなると考えられる。また両シリーズの衝撃ひずみを比較すると、Bシリーズの方が大きくなっている。すなわち、衝撃荷重を受けた場合主筋方向スパンの長い版は衝撃ひずみは大きくなるが、動的倍率は小さくなることがわかる。

また、図-7(b)よりC、D両シリーズとも載荷点では静ひずみの方が大きくなっており、その付近では三角形分布を示すが、衝撃ひずみの場合は台形分布に近くなっている。また両者の衝撃ひずみを比較すると、鉄筋量の

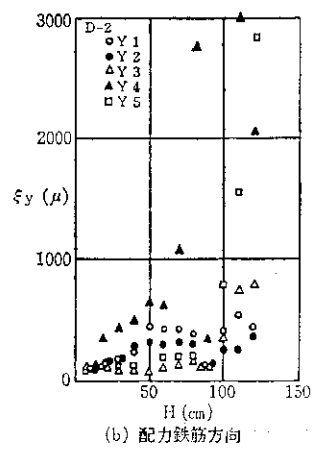
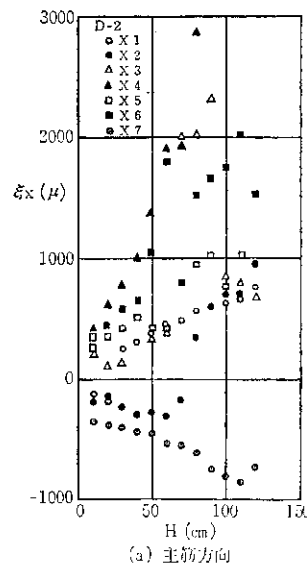
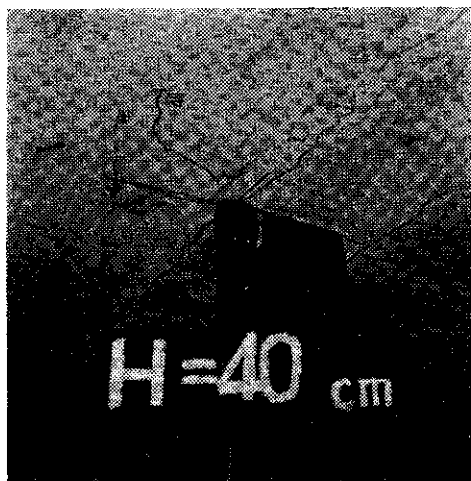


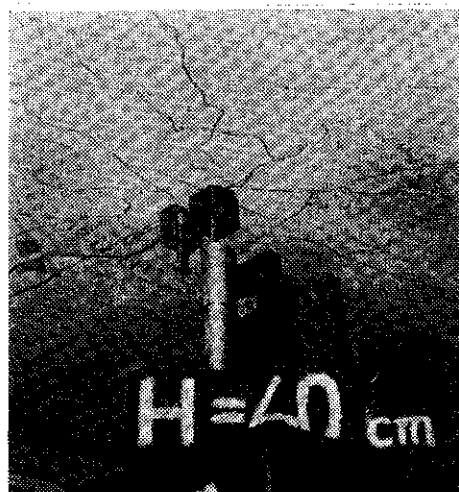
図-6 落下高と衝撃によるひずみ

少ないCシリーズの方がその値が大きく、その分布の範囲も小さいことがわかる。

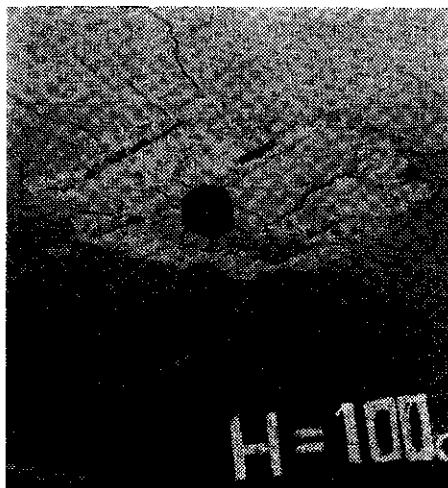
以上のことから、主筋方向のひずみは主筋方向スパンが長い方が衝撃ひずみは大きい、動的倍率が小さいこと、また鉄筋量が少い方が衝撃ひずみが大きく、その分布の範囲も狭くなることがわかった。



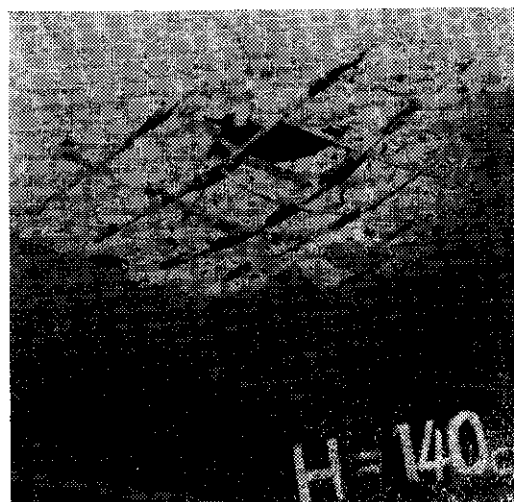
(a) 放射状クラック
(H=40 cm)



(b) 円形状クラック
(H=60 cm)



(c) コンクリートの剥離
(H=100 cm)



(d) RC版の破壊
(H=140 cm)

写真—1 RC版下面の状態

次に、配力鉄筋方向 (Y方向) ひずみの場合を図-8に示す。図-8(a)より A, B シリーズの相違は X 方向と同様に A シリーズでは動的倍率が 2~3 倍となるが、B シリーズではほぼ 1 倍に近い値となる。すなわち、配力鉄筋方向の衝撃ひずみは主鉄筋方向スパンの大小に左右されることがわかる。また、衝撃ひずみの分布は静的ひずみとはほぼ同じく三角形分布を示している。

さらに、図-8(b)より、C, D シリーズ両者とも衝撃ひずみの方が大きくなっている。これは、図-7(b)の主筋方向の載荷点で静的ひずみの方が大きくなることと逆の傾向である。この原因は、配力鉄筋方向が自由辺であるため、衝撃荷重の場合は慣性力の効果で見かけ上の版の両端に版が作用するようになるためと考えられる。ま

た、両シリーズの衝撃ひずみを比較すると、C シリーズの方がその絶対値が大きく、また分布も鋭くなっている。

以上から、配力鉄筋方向のひずみはその分布が三角形分布であること以外は A, B シリーズ、C, D シリーズの関係は主筋方向と同様なことがいえる。

鉄筋コンクリート版供試体が衝撃荷重を受けた場合、今回の実験ではおおむね次のことがいえる。

(a) 衝撃加速度は、主筋方向スパンの長い方が、また鉄筋量の少ない方が相対的に小さくなる。さらに、衝撃に対する強さは主筋方向スパンの短い方が、また鉄筋量の多い方が相対的に大きい。

(b) 配力鉄筋は、RC 版が破損した後の衝撃荷重に対する版の粘りに影響すると考えられる。

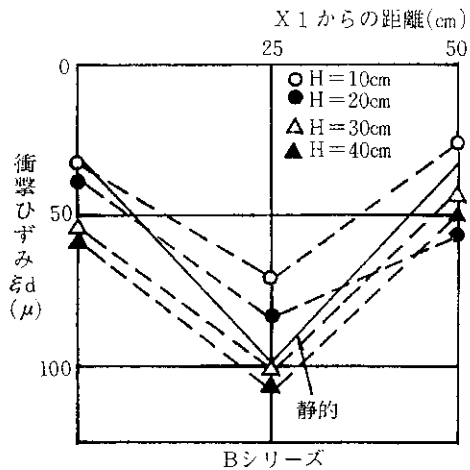
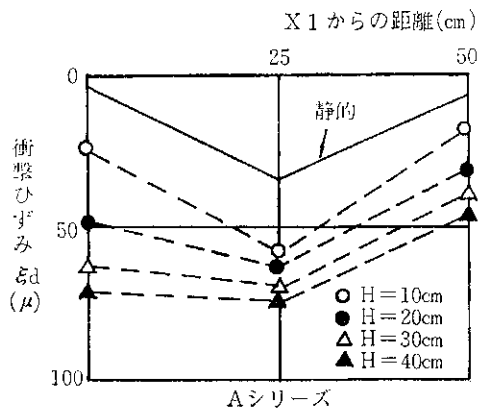


図-7(a) 主筋方向の衝撃ひずみ (A, B シリーズ)

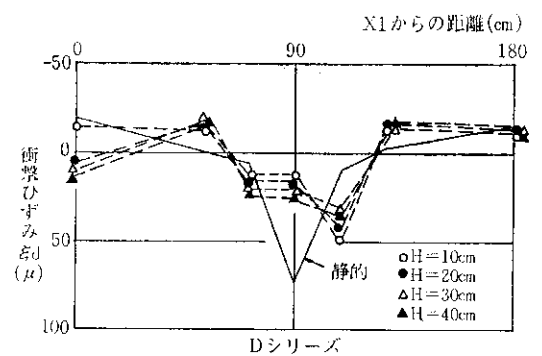
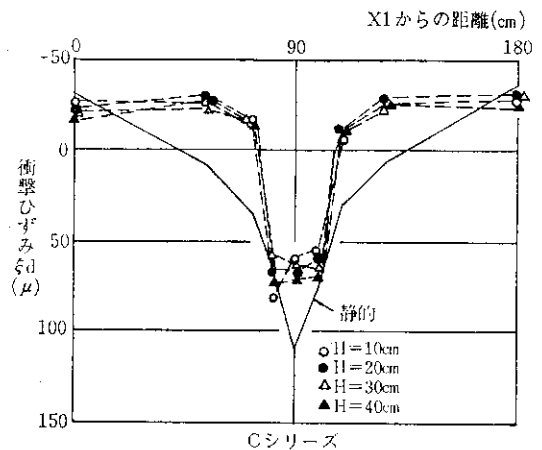


図-7(b) 主筋方向の衝撃ひずみ (C, D シリーズ)

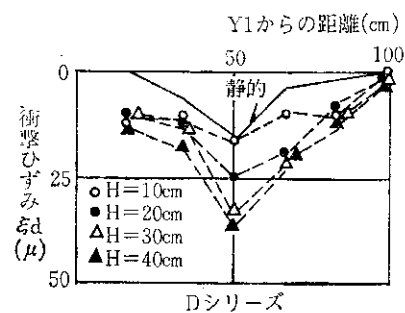
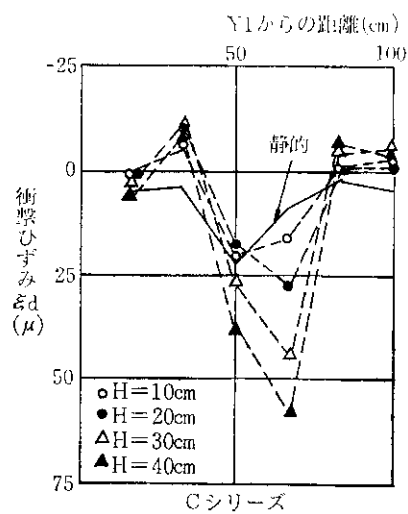
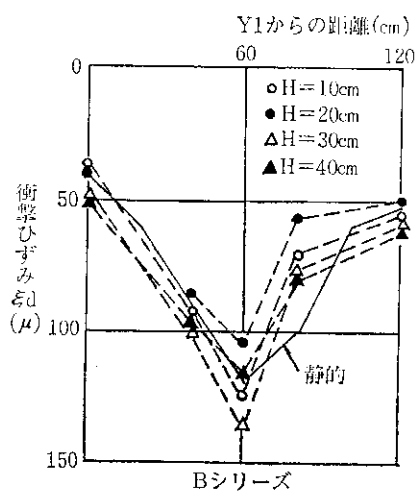
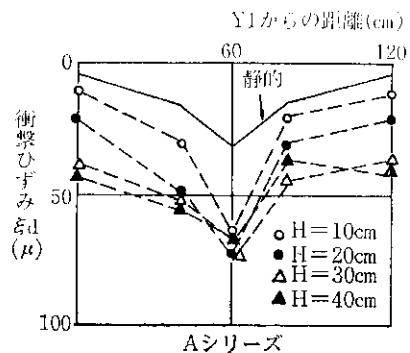


図-8 配力鉄筋方向の衝撃ひずみ

(c) 主筋方向の衝撃ひずみは、主筋方向スパンの長い版の方がその絶対値は大きい、動的倍率は相対的に小さい。また、鉄筋量の小さい版はその絶対値が大きく分布の範囲も狭い。

(d) 配筋鉄筋方向の衝撃ひずみは、おおよそ三角形分布を示すが、主筋方向スパンや鉄筋量による相違は主筋方向とほぼ同じである。

4. あとがき

今回の実験は、特に主筋方向スパンと鉄筋量の相違に注目して静的な場合との比較検討を行った。今後さらに同様の検討を行うとともに、

(1) 今回は同一の版に落下高さを変えて衝撃荷重を加えたが、単一の破壊荷重による版の挙動の検討

(2) 衝撃荷重による RC 版の挙動を FEM などにより解析的な検討

などを行い、RC 版の設計手法の確立に役だてたい。

参 考 文 献

1) 佐藤睦治・千葉利則・吉田紘一：覆道の設計手法

に関する一考察，第 27 回北海道開発局技術研究発表会，1984 年。

2) 千葉利則・佐藤睦治・吉田紘一：衝撃荷重を受ける RC 版の模型実験について，第 28 回北海道開発局技術研究発表会論文集，1985 年。

3) 藤井・宮本・中川・泰：衝撃荷重下の鉄筋とコンクリートとの付着に関する実験的研究，土木学会関西支部年次学術講演会概要集，1976 年。

4) 竹田・佐山・千原・河村：衝撃を受ける鉄筋コンクリート構造物の配筋方法の研究，第 3 回コンクリート工学年次講演会講演論文集，1981 年。

5) 小柳・六郷・内田・諸永：鉄筋コンクリートはり・スラブの衝撃じん性，第 4 回コンクリート工学年次講演会講演論文集，1982 年。

6) 竹田・千原・河村・藤本：爆発または衝撃をうける鉄筋コンクリート構造物の配筋方法の研究セメント技術年報 36，1982 年。

7) 小柳・六郷・内田・岩瀬：衝撃荷重下のコンクリートの変形と破壊に関するエネルギー的考察第 5 回コンクリート工学年次講演会講演論文集，1983 年。

*

*

*