

PC 版の耐衝撃性向上に関する研究

藤 井 学*
宮 本 文 穂**

1. ま え が き

海洋構造物, 船舶, 原子炉格納容器, 更には工作機械部品, 宇宙船へとコンクリート構造の適用範囲拡大への期待は急速に広がっている。これらの期待に積極的に応えていくためにはコンクリート構造の PC 化, 高強度化は欠かすことができないと考える。また, これと同時に衝撃, 地震等のより苛酷な条件下への適用の要求が高まっており, 限界状態設計法の導入とも相まって衝撃荷重等の動的荷重下での力学的挙動の解明が重要な研究課題となってきた^{2), 3)}。

PC 構造は, RC 構造の有している種々の欠点を補うことができることは広く認められているが, PC 部材の履歴特性は RC 部材のそれと大きく異なり, 履歴による構造減衰が小さく, 剛性低下も少ないことが, 衝撃, 地震等の動的荷重下では不利であると考えられている⁴⁾。しかし PC 構造の有している利点を考慮すると, 積極的に耐衝撃性等を付与する方法を研究, 開発することが必要と考える。衝撃荷重下の PC 構造では, その破壊領域で裏面はく離等の固有の破壊モードが付加され, PC 構

造の耐衝撃性向上のためには衝撃エネルギーの吸収能を向上させるとともにコンクリートのぜい性に伴う局部的損傷(かぶりコンクリートの裏面はく離や衝撃体の貫入)を防止する必要がある。

本研究は, 自動車, 船舶, 波等による比較的緩慢な衝撃(ソフトな衝撃⁵⁾)を受ける PC 版について次のような項目に関する検討を行い, 耐衝撃性の評価を試みるものである:

- 1) 種々の限界状態に及ぼすプレストレス (PS) 量, PC 鋼棒の配置間隔の影響,
- 2) 版のじん性, ひびわれ拘束性, かぶりコンクリート飛散に及ぼす鋼繊維混入の影響。

2. 実験概要

2.1 実験計画および供試体

表-1 は, 今回実施した PC, RC 版の詳細と供試体記号を示したものである。また, 表-2 は各版の設計荷重および降伏線理論⁶⁾, Hawkins 式⁷⁾を適用した曲げおよび押抜きせん断破壊荷重を示したものであり, 版の設計荷重がほぼ同一となるように設計した。

表-1 供 試 体 の 詳 細

版の種類	記号*	版厚 (cm)	鋼材比** (%)	PC 鋼棒 (本-mm)	導入プレ ストレス 力 (t)	プレスト レッシング度 係数***	鉄 筋 (mm)				鋼繊維混 入の有無	要 因					
							主 鉄 筋		配 力 筋								
							引張側	圧縮側	引張側	圧縮側							
I 種 PC 版	PC1D-1	10	0.77	8-φ 11.0	45.2	1.0	0	0	8-D 13	0	無	PC 鋼棒間隔の影響					
	PC1S-1																
	PC1D-2	10	0.82	12-φ 9.2	50.0	1.0											
	PC1S-2																
II 種 PC 版	PC2D	10	0.80	6-φ 11.0	32.5	0.909	3-D 10	0	8-D 13	0	無	導入プレストレス量の影響					
	PC2S																
III 種 PC 版	PC3D-1	10	0.87	3-φ 11.0	19.5	0.605	8-D 10	0	8-D 13	0	無	鋼繊維混入および PC 鋼棒間隔の影響					
	PC3S-1																
	PS3D-2	10	0.97	5-φ 9.2	25.0	0.615											
	PS3S-2																
	FPC3D												10	0.93	5-φ 9.2	25.0	0.615
FPC3S																	
RC 版	RCD-1	13	1.07	—	0	0	12-D 13	6-D 13	9-D 13	5-D 13	無	版厚増加および鋼繊維混入の影響					
	RCS-1																
	RCD-2	10	2.23	—	0	0											
	RCS-2																
	FRCD												10	2.23	—	0	0
	FRCS																

* D: 衝撃試験 S: 静的試験

** 鋼材比 = $(A_s + A_{sp}) / bd$.

*** プレストレッシング度係数 = $A_{ps} \cdot f_{ps} / (A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y)$

* 神戸大学工学部土木工学科助教授, 工博

** 神戸大学大学院自然科学研究科助手, 工修

表—2 設計荷重および破壊荷重の計算値

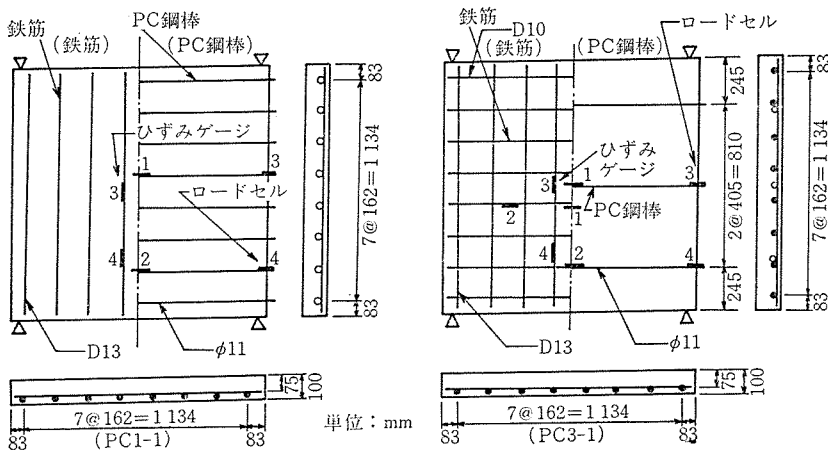
供試体の種類	設計荷重 (tf)	破 壊 荷 重 (tf)	
		曲 げ	押抜きせん断
PC1D-1 PC1S-1	4.7	16.4	24.4
PC1D-2 PC1S-2	5.0	18.4	24.5
PC2D PC2C	4.7	14.3	21.6
PC3D-1 PC3S-1	4.7	11.4	19.6
PC3D-2 PC3S-2	4.9	10.9	20.2
FPC3D FPC3S	4.9	10.9	20.2
RCD-1 RCS-1	4.9	13.9	27.0
RCD-2 RCS-2	5.0	18.7	23.5
FRCD FRCS	5.0	18.7	23.5

主な実験要因は、PC版の場合、プレストレス導入量およびPC鋼棒配置間隔であり、特にRCおよびⅢ種PC版についてはコンクリートへの鋼繊維混入の有無を付け加えた。また、RC版においては版厚の変化の影響も検討した。

鋼繊維は、 $\phi 0.6 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ の異形ファイバー（神戸製鋼社製）をコンクリート体積に対し1%混入し、施工性改善のため、高流動化剤（高分子アニオン系）を使用した。PC鋼棒は神鋼々線社製アンボンドPC鋼棒を

表—3 PC鋼棒および鉄筋の機械的性質

鋼材の種類	公称直径 (mm)	規 格	公称断面積 (cm ²)	降伏点応力 (kgf/mm ²)	引張強度 (kgf/mm ²)
アンボンド PC 鋼棒	$\phi 11$	B 1	0.935	109.4	119.4
	$\phi 9.2$	B 1	0.6648	111.0	117.0
補 強 鉄 筋	D 10	SD 30	0.7133	36.2	55.5
	D 13	SD 30	1.267	34.7	49.6



図—1 PC版の配筋図およびひずみ測点

使用した。使用鋼材の機械的性質を 表—3 に示す。

供試版は、静的 (S)、衝撃 (D) 用にそれぞれ対で作製し、その寸法を $130 \text{ cm} \times 130 \text{ cm}$ の正方形版とし、スパン 120 cm の2辺単純支持条件で実験を行った。図—1 は一例として PC 版の配筋図を示したものである。

使用したコンクリートの設計基準強度は RC、PC 版に対し、それぞれ 300 kg/cm^2 、 400 kg/cm^2 とし、その配合を表—4 に示す。セメントは早強ポルトランドセメントを使用した。

表—4 コンクリートの配合

供 試 体		PC 版	RC 版
粗骨材の最大寸法 (mm)		25	25
ス ラ ン プ (cm)		9.0	9.0
空 気 量 (%)		1.5	1.5
水セメント比 (%)		38	58
細 骨 材 率 (%)		45	45
単位重量 (kg/m ³)	セメント	500	284
	水	190	165
	細骨材	750	861
	粗骨材	917	1052

供試体は材令2日で脱型し、試験時材令まで湿布養生を行った。PC版に対するプレストレスの導入は、導入力の管理を各鋼棒端部に設置したロードセルで行い、材令7日で所定導入力の1.2倍の仮緊張を実施した後、試験前日に所定導入力で再緊張し、試験に供した。

2.2 実験方法およびデータの解析

静的試験は門形載荷装置を用い、油圧ジャッキにより版中央に設置した載荷板 ($15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$) に荷重を加えた。荷重は、上限を 2 t ピッチで増加させ、下限を 0 t とする繰返し載荷とし、各荷重段階で 10 回繰返しした。各荷重段階での測定項目は 図—1, 2 (a) に示す各位置でのたわみ、鉄筋およびコンクリートひずみ、ひびわれ幅および端部ロードセルによる PC 鋼棒引張力の変化である。また、載荷荷重と版中央たわみの関係は $2X-Y$ レコーダで連続記録した。

衝撃試験は 図—3 に示す大型振り子式衝撃試験装置を用い、所定の位置から重量 500 kgf の重錘を落下させ、衝撃力として作用させた。載荷位置には載荷板とゴム板を重ねて固定し、周期約 15 ms の正弦半波形のソフトな衝撃波形が得られるようにした。落下高さは、初期ひびわれ発生までは 2.5 cm ピッチで上げ、その後、破壊まで 5 cm ピッチで上げて行き、各落下高さで 10 回繰返しした。衝撃力は重錘に設置した加速

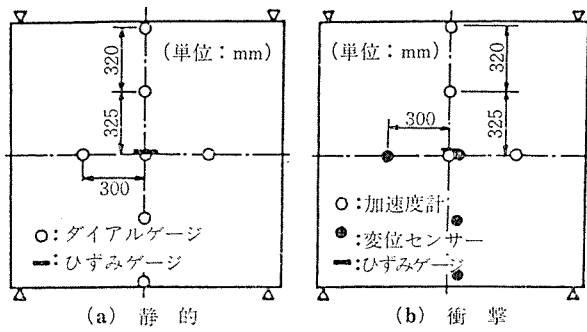


図-2 たわみおよびコンクリートひずみ測点

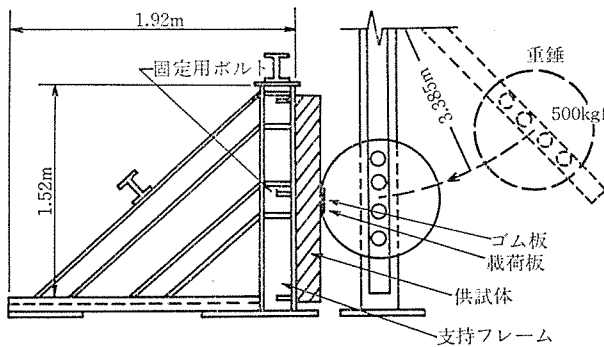


図-3 衝撃試験装置の詳細

度計より算出し、変位は渦電流型の非接触変位形で検出した。測定項目は、図-1,2 (b) に示す各位置での変位応答、ひずみ応答、ひびわれ幅変化、PC 鋼棒引張力変化および応答加速度であり、それぞれアンプを通じてデータレコーダに集録した。これらのアナログデータは $\Delta t=200 \mu s$ で AD 変換を行い、波形解析装置で 0 点補正、ノイズの除去を行った後、応答加速度よりパワースペクトル、周波数伝達関数等を求め、衝撃力、変位応答より各種エネルギーを算出した。ひびわれの進展による版剛度の低下はパワースペクトルより得られる卓越振動数より次式で求めた： $D/D_0=(f/f_0)^2$ 、ここで f_0, D_0 はひびわれのない版の固有振動数および版剛度、 f, D

はひびわれを有する版の固有振動数 および 版剛度 である。

3. 実験結果および考察

3.1 ひびわれおよび破壊形式

表-5 は本実験より得られた主な結果をまとめたものである。静、衝撃荷重下でのひびわれ、破壊荷重はそれ

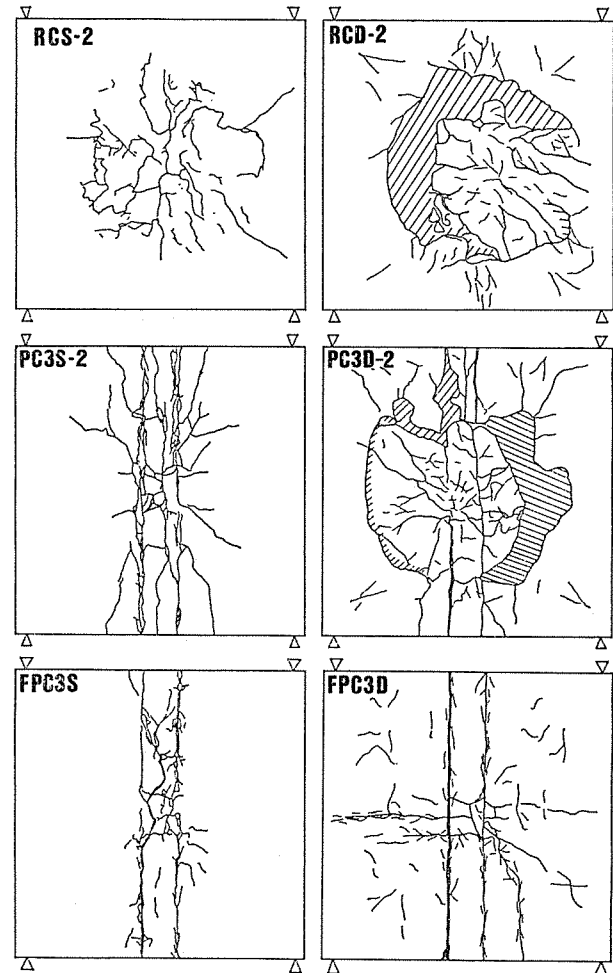


図-4 静、衝撃荷重下での破壊状況(裏面)

表-5 実験結果の一覧

供試版の種類	スランブ (cm)	試験時材令 (日)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	曲げ強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 ($\times 10^3$ kgf/cm ²)	ひびわれ落下高さ (cm)	ひびわれ荷重 (tf)	破壊落下高さ (cm)	破壊荷重 (tf)	破壊荷重比 (衝撃/静的)	破壊形式*
PC1D-1	9.9	28	551	38.2	—	—	10.0	11.2	40.0	17.0	0.79	P, S
PC1S-1		22					—	8.0	—	21.5		F
PC1D-2	8.5	30	488	—	40.7	3.29	12.4	11.1	49.6	16.2	0.70	P, S
PC1S-2		40					—	10.0	—	23.2		P
PC2D	10.3	23	640	32.1	—	—	10.0	12.0	40.0	17.5	0.88	P, S
PC2S		19					—	8.0	—	20.0		P
PC3D-1	9.9	15	543	33.1	—	—	10.0	12.0	45.0	15.8	0.99	P, S
PC3S-1		19					—	6.0	—	16.0		P
PC3D-2	12.1	42	430	—	40.5	3.21	4.1	5.9	41.3	13.6	0.65	P, S
PC3S-2		53					—	8.0	—	18.0		F
FPC3D	12.5	36	541	—	57.7	3.29	4.1	6.8	24.8	15.6	0.74	F
FPC3S		46					—	10.0	—	20.9		F
RCD-1	14.3	37	309	30.7	—	—	10.0	10.0	30.0	27.6	1.23	P, S
RCS-1		51					—	8.0	—	22.5		P
RCD-2	9.7	57	286	—	38.9	2.74	8.3	6.7	24.8	15.6	0.71	P, S
RCS-2		64					—	6.0	—	22.0		P
FRCD	8.4	57	327	—	53.3	2.80	16.5	11.2	28.9	17.4	0.67	F
FRCS		63					—	8.0	—	26.0		F

* P: 押抜きせん断破壊, F: 曲げ破壊, S: 裏面はく離

ぞれ、目視ひびわれ発生荷重、最大荷重とした。

静的荷重下で各版に発生する初期ひびわれの方向はすべて版中央配力筋方向であったが、衝撃荷重下での初期ひびわれ発生位置、方向には規則性はみられなかった。荷重の増大とともにひびわれの進展、残留ひびわれ幅および残留たわみの増大が生ずるが、静、衝撃荷重下ともプレストレス量の増加、鋼繊維の混入によって減少する傾向がみられた。また、衝撃荷重下ではひびわれの進展に伴ってひびわれ交点近傍におけるかぶりコンクリートのはく離現象が観察されたが、鋼繊維の混入によりその程度は著しく減少した。図-4 は、破壊後の版裏面状態を静、衝撃荷重下で比較したものの一例を示したものであるが、破壊モードの変化が明らかである。表-5 の破壊形式の欄には各版の破壊形式を曲げ (F)、押抜き (P)、裏面はく離 (S) の有無に分類したものを示しているが、鋼繊維を混入しない版の場合、衝撃荷重下で押抜きせん断破壊となり易い傾向があることがわかる。表-5 より、ほぼ対応させた荷重条件 (漸増繰返し載荷) としてもかかわらず、衝撃破壊荷重が静的より小さくなっている。これは漸増繰返し載荷による衝撃荷重下での累積損傷が静的荷重下より大であることを示すものと考えられる。

3.2 版 剛 性

弾性範囲内における静、衝撃荷重下での各版の剛性の指標として同一荷重時 (静、衝撃荷重下とも約 6t) における最大変位でのバネ定数を比較したものを表-6 に示す。これより、PC 各版の衝撃荷重下でのバネ定数は

表-6 静、衝撃荷重下における各版のバネ定数

供 試 体	落下高さ $h=5\text{ cm}$ におけるバネ定数 k_D (tf/mm)	供 試 体	荷重 $P=6\text{ tf}$ におけるバネ定数 k_S (tf/mm)	$\frac{k_S}{k_D}$
PC1D-1	4.45	PC1S-1	6.47	1.45
PC1D-2	3.90	PC1S-2	5.22	1.34
PC2D	5.14	PC2S	6.11	1.19
PC3D-1	4.04	PC3S-1	4.86	1.20
PC3D-2	3.92	PC3S-2	5.36	1.37
FPC3D	4.30	FPC3S	5.83	1.36
RCD-1	6.15	RCS-1	6.64	1.08
RCD-2	3.57	RCS-2	4.32	1.21
FRCD	3.91	FRCS	4.00	1.02

版厚の小さい RC 版 (RCD-2, $h=10\text{ cm}$) とほぼ対応しているのに対し、静的荷重下では版厚の大きい (RC 版 (RCD-1, $h=13\text{ cm}$) とほぼ対応しているのがわかる。また、各版の静、衝撃荷重下でのバネ定数の比較より、衝撃荷重下でのバネ定数が 20~30% 小さくなっており、弾性範囲内で同一ピークを有する荷重を受けた場合、衝撃下の最大たわみは静的より大なることを示している。これは、静的荷重下ではプレストレス導入の効果が

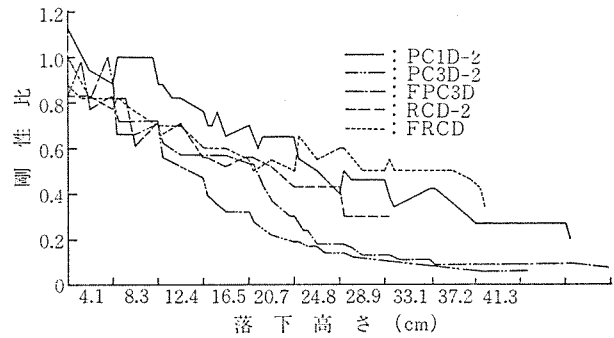


図-5 版剛性の低下 (衝撃試験)

初期剛性の増加となって現れるが、衝撃荷重下では局部変形、振動の付加によりその効果が版厚増加に比べ小さくなることによるものと考えられる。

図-5 は、2.2 で述べた方法で求められる版剛性の低下と落下高さおよび落下回数との関係を示したものである。図-5 より、PC 各版の剛性低下の割合が特に破壊領域において RC 版に比べて大きくなっていること、プレストレス量の減少によってこれが更に顕著になることがわかる。また、これらは鋼繊維を混入することによりかなり改善できることがわかる。

3.3 たわみおよび曲率

図-6 (a), (b), (c) は衝撃荷重下における各測点のたわみおよび残留たわみの変化の一例を示したものである。これより、各版とも落下高さにはほぼ比例してたわみが増大している。また、残留たわみは RC 版の場合 (図-6 (a)), ひびわれ発生と同時に増加し始め、破壊近傍で急増するが、PC 版の場合 (図-6 (b), (c)), 破壊直前まで残留たわみはほとんど生じず破壊に至る。その傾向はプレストレス量の増大とともに顕著になる。

図-7 は、たわみ分布より得られる主筋方向中央 60 cm 区間の平均曲率の変化を静、衝撃荷重下で比較したものである。弾性範囲内および破壊時における平均曲率は衝撃荷重下で全体的に小さくなっている。これは衝撃力作用時の瞬間的な力の釣合いが慣性力の影響により版全体に及ぶためと考えられ、ひびわれ発生後に顕著な差となって現われている。静的荷重下において RC 版では、早い時期に押抜きが生じるため、比較的小さな平均曲率のまま破壊に至るが、PC 版の場合、プレストレス量の減少とともに大きな平均曲率で破壊に至るようになる。また、PC 鋼棒間隔を密にする効果および鋼繊維を混入する効果は同一荷重における平均曲率を小さくするように作用する。これをひびわれ分散程度の差と考えるならば、PC 鋼棒間隔を密にすること、および鋼繊維混入が静的荷重下における版のじん性を著しく向上させると言える。一方、衝撃荷重下では、RC 版の版厚増加お

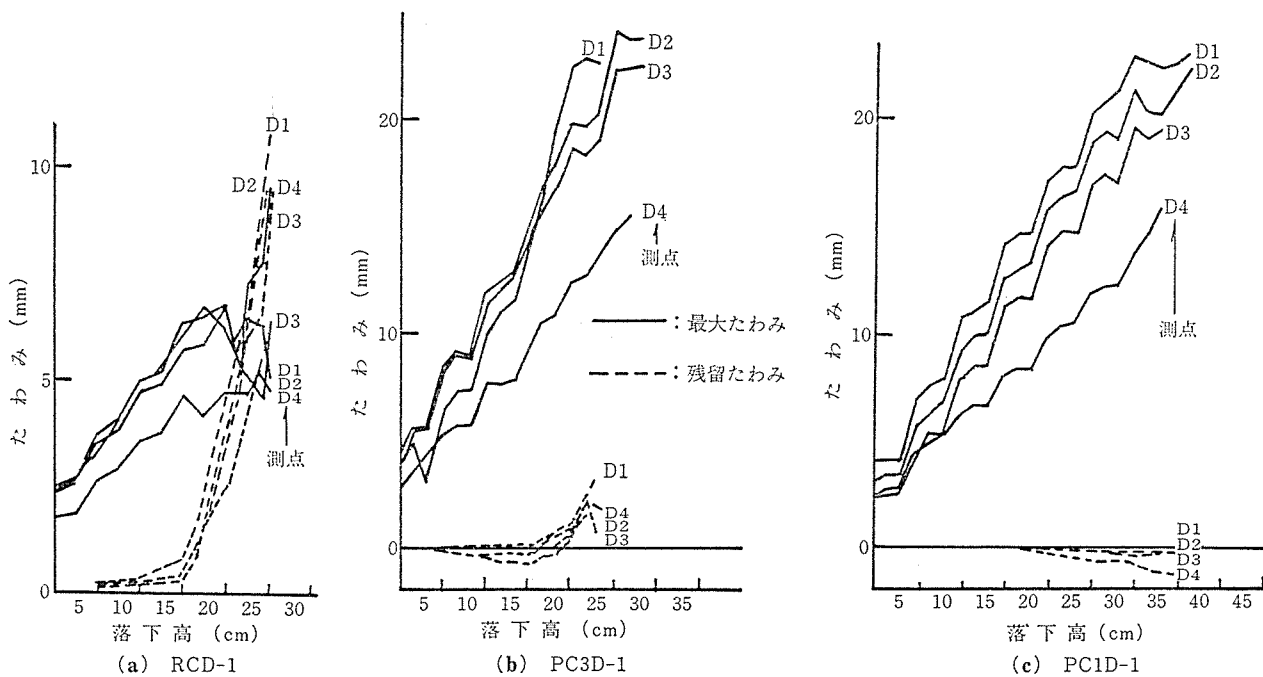


図-6 衝撃荷重下でのたわみおよび残留たわみ

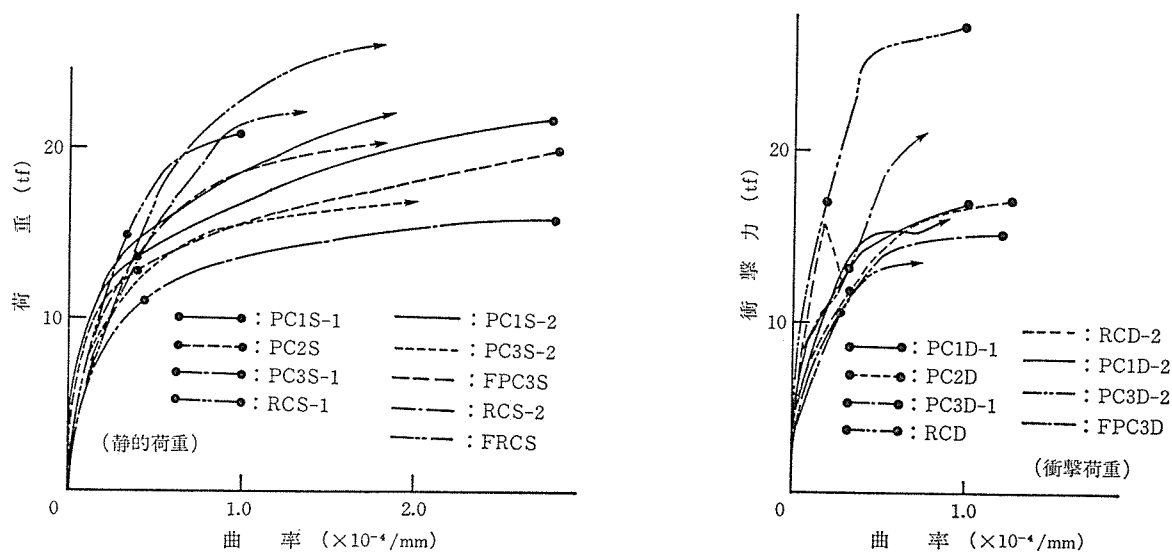


図-7 荷重～曲率関係(主筋方向)

よび鋼繊維混入がじん性向上に効果を示す以外は他の要因の効果はみられない。

3.4 荷重～たわみ関係およびエネルギー

荷重(衝撃力)と版中央変位の関係を静, 衝撃荷重下で比較したものの一例を図-8に示す。これより, 衝撃による版の振動成分の影響により両者は大きく異なったものとなっていることがわかる。これらを定量的に取り扱うため, 繰返し載荷下で連続的に測定された荷重～変位曲線に基づいたエネルギー的考察を行う。図-9は得られた荷重～変位曲線の模式図を示したものであり,

次の諸量を定義する: W_T ; 外力によって与えられる全エネルギーで OPQR の面積で表わす ($=W_r+W_i$), W_i ; 任意の1回の載荷で与えられる全エネルギーで SQR の面積で表わす ($=W_r+W_p$), W_r ; 回復エネルギーで TQR の面積で表わす, W_i ; 散逸エネルギーの和で OPQT の面積で表わす, W_p ; 任意の繰返し載荷1回当りの散逸エネルギーで SQT の面積で表わす。図-10は W_i と版中央変位の関係を各版についてプロットしたもので, 両者の間には線形関係が認められる。また, 図-10には中央変位 5mm までの点で W_i との

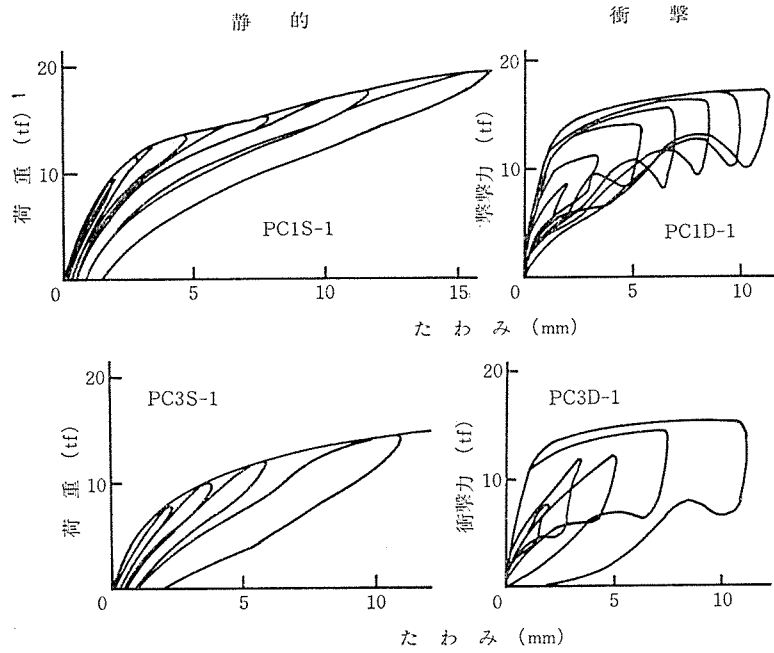


図-8 荷重（衝撃力）～版中央変位の関係

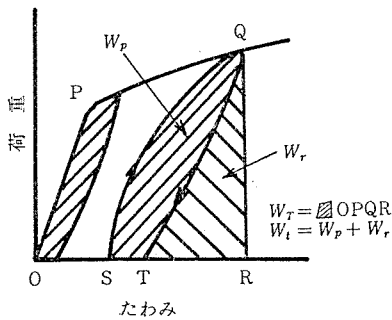


図-9 荷重～たわみ関係の模式図

関係を最小自乗法により直線近似した値を併記している。図-11 は各荷重段階に対応する散逸エネルギーの全エネルギーに対する比、 W_p/W_t を比較したものである。これらより次のことが明らかである：(a) 任意の版中央変位を生じさせるために必要な外部エネルギーは、静、衝撃荷重下ともプレストレス量の増大，鋼繊維の混入により増大する，(b) 上述の外部エネルギーは衝撃荷重下の方が静的荷重下に比し2割程度小さい，(c) 静的荷重下での散逸エネルギー比は載荷初期より破壊時までほぼ一定となっているが，衝撃荷重下では荷重の増大に伴って大きくなる傾向を示す。

図-12 は，初期ひびわれが終始最大ひびわれ幅を保った供試体の散逸エネルギー (W_p) と最大ひびわれ幅の関係を静，衝撃荷重下で比較したものである。これより両者にはほぼ線形関係が認められ，供試体に加わる散逸エネルギーが主にひびわれ幅の拡大に費やされているものと推定される。また，同一ひびわれ幅を得るために

供試体	勾配 (kgf·cm/mm)	切片 (kgf·cm)	中央たわみ5mm時の 全エネルギー、 W_t (kgf·cm)	比*
PC1S-2	1363	-1570	4989	1.0
PC3S-2	774	-612	3990	1.0
FPC3S	971	-952	4586	1.0
RCS-2	966	-1157	4138	1.0
FRCS	900	-928	4093	1.0
PC1D-2	898	-444	3709	0.74
PC3D-2	795	-618	3072	0.77
FPC3D	934	-724	3434	0.75
RCD-2	961	-270	3860	0.93

*比 = 衝撃荷重下での中央たわみ5mm時の全エネルギー / 静的荷重下での中央たわみ5mm時の全エネルギー

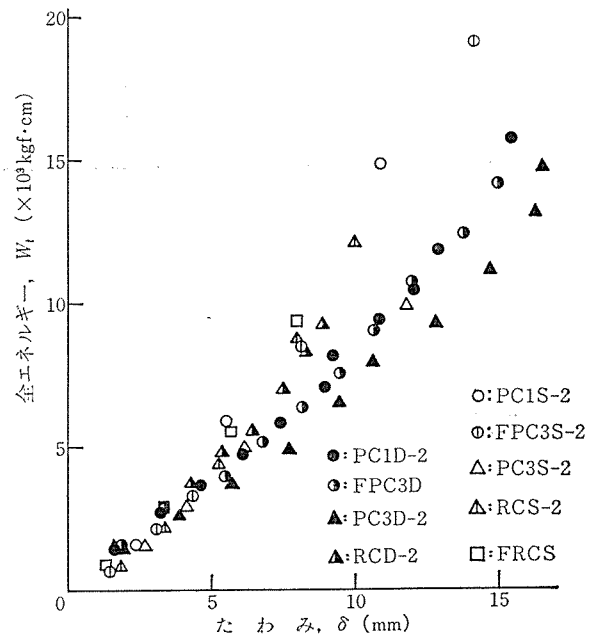


図-10 全エネルギー (W_t) と版中央たわみ (δ) の関係

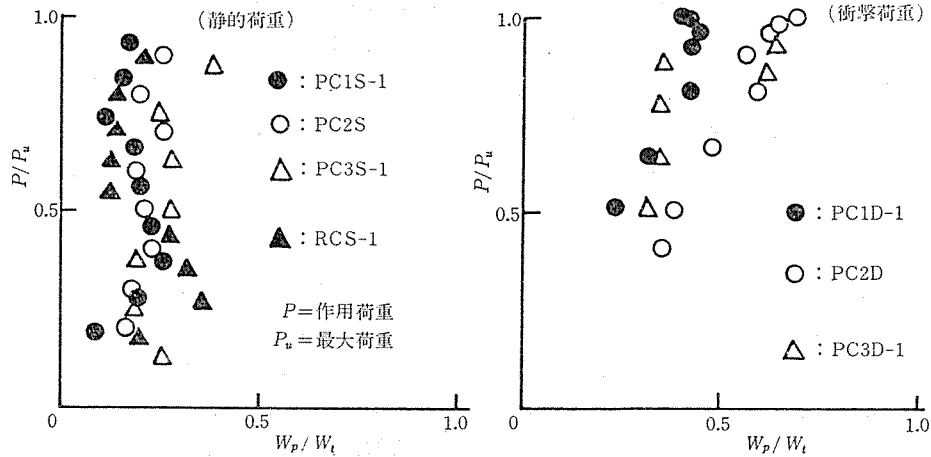


図-11 静，衝撃荷重下での散逸エネルギー

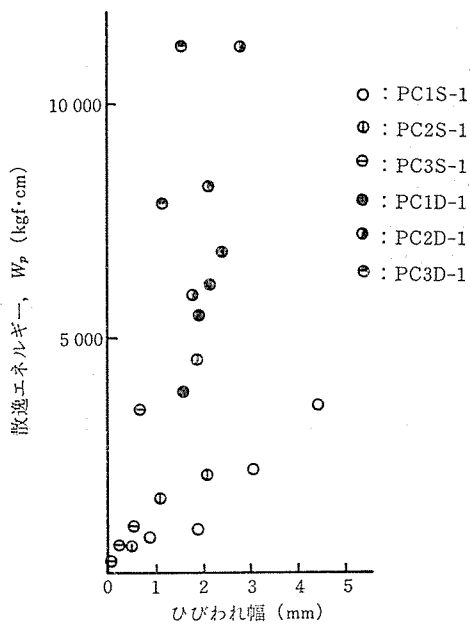


図-12 散逸エネルギーと最大ひびわれ幅の関係

表-7 破壊までの全エネルギー (kgf·cm)

供試体	荷重の種類	衝撃*	静的**	衝撃/静的
PC1-1 (版厚 10 cm)		14.1×10 ³	36.3×10 ³	0.39
PC1-2 (")		12.1×10 ³	28.4×10 ³	0.43
PC2 (")		13.2×10 ³	34.0×10 ³	0.39
PC3-1 (")		13.1×10 ³	21.4×10 ³	0.61
PC3-2 (")		17.5×10 ³	26.5×10 ³	0.66
FPC3 (")		18.7×10 ³	28.6×10 ³	0.65
RC-1 (版厚 13 cm)		12.6×10 ³	15.6×10 ³	0.81
RC-2 (版厚 10 cm)		6.1×10 ³	20.7×10 ³	0.29
FRC (")		—	27.7×10 ³	—

* 衝撃の場合，最大荷重時までの全エネルギーとした。

** 押抜きの場合，破壊直前の変形まで，曲げの場合，荷重がほぼ一定となる変位までの全エネルギーとした。

費やされるエネルギーは，衝撃荷重下の方が静的荷重下より大きくなる傾向がみられる。更に PC 版の種類についてみると，静，衝撃荷重下ともに同一ひびわれ幅を得

るのに必要な散逸エネルギーは PC 3 が最も大きく，PC 2，PC 1 の順に小さくなっており，これをひびわれ進展速度とみなすと，じん性の高い順になっていると考えられる。

表-7 は破壊までの全エネルギー (W_T) を各版について比較したものである。これより，PC 3 の場合，静，

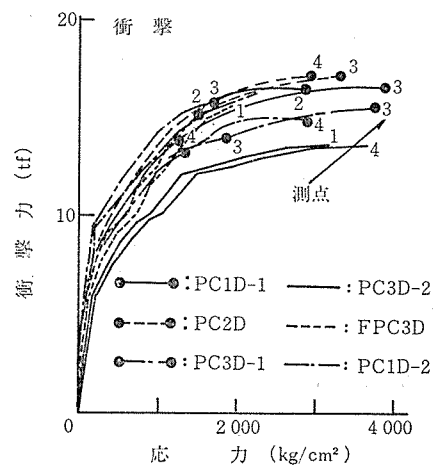
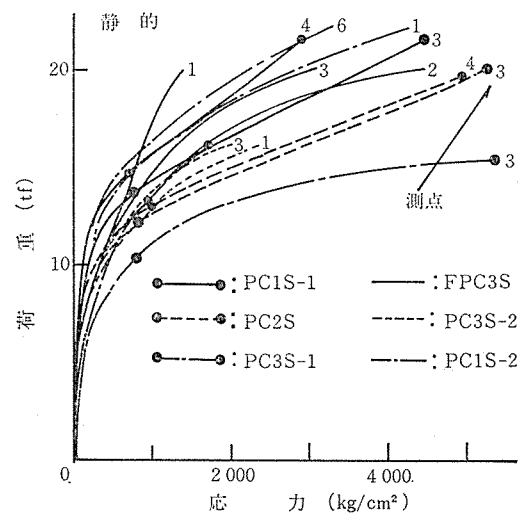


図-13 PC 鋼棒応力

衝撃荷重下での全エネルギーは PC 鋼材間隔を密にすること、および鋼繊維の混入によって大きくなる傾向があることがわかる。また、RC 版の場合は、版厚が小さくなると同一設計荷重であっても特に衝撃荷重下で全エネルギーが半減するという結果となった。静、衝撃荷重下での全エネルギーの比は、PC 1, 2 版では約 0.4, PC 3 版では約 0.6, RC 版では版厚により異なっているが、一般的には約 0.8 と考えられ、PC 1, 2 版では衝撃荷重下でのじん性低下が大きいものに対して PC 3 版では RC 版のじん性値に近づくことがわかる。また、これら PC 版のじん性改善には PC 鋼材を密に配置すること、鋼繊維の混入が更に有効となることが考えられる。

3.5 PC 鋼棒の応力

図-13 は、図-1 に示す各位置でのアンボンド PC 鋼棒に生ずる最大応力と載荷荷重との関係を各版について比較したものである。これによると、静的荷重下の場合、プレストレス量、PC 鋼棒間隔によりひびわれ発生後の PC 鋼棒応力に変化がみられるが、衝撃荷重下ではほとんど変化がみられない。また測点間の応力波形の時間ずれもほとんど生じていない。このことは PC 版に作用する衝撃力が瞬時に広く分散するものと考えられ、これまで述べてきた結果を裏付けるものとなっている。PC 鋼棒応力に及ぼす鋼繊維の影響は両荷重下で PC 鋼材応力を減ずる方向に作用し、その効果は衝撃荷重下の方が大きくなっている。

3.6 応答加速度

衝撃荷重下で固有な版裏面のかぶりコンクリートの飛散り条件は、版の応答加速度で評価することが可能と考える。図-14 (a), (b), (c) は、主、配力筋方向の正負の最大応答加速度分布の一例を示したもので、落下高さが小さい場合、各版ともほぼ同様な分布形状を示している。落下高さが高くなり、版の破壊近傍になると負の加速度が大となり、はく離現象が起こることになると考えられる。図-14 より、FPC 3 版ははく離現象のみられた RC および PC 3 版に比べ、はく離部近傍で、破壊時に大きな負の加速度まで測定可能であった。また、図-15 は版剛性の低下と最大応答加速度の関係を示したも

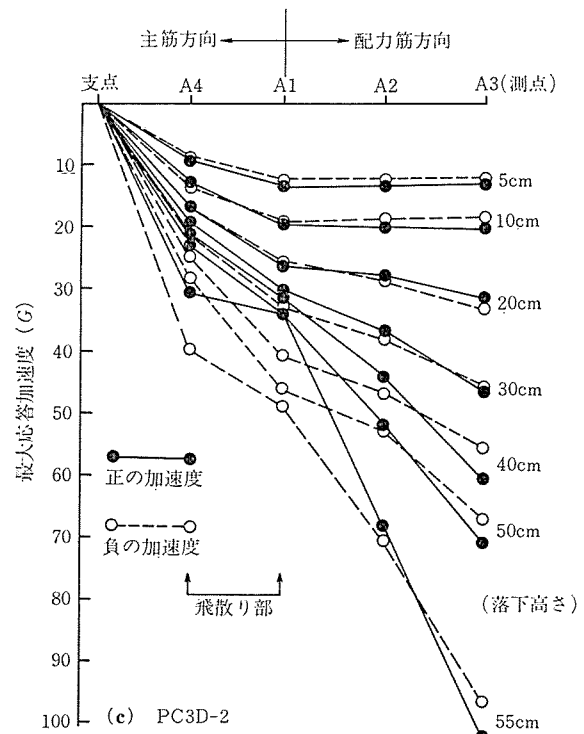
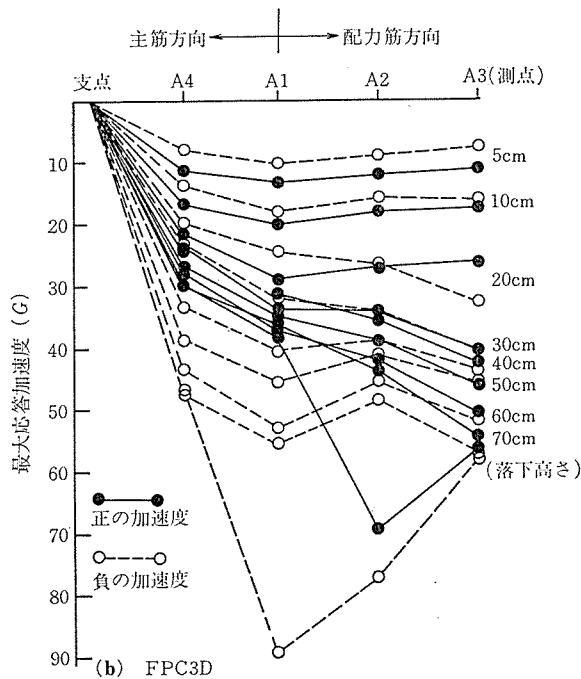
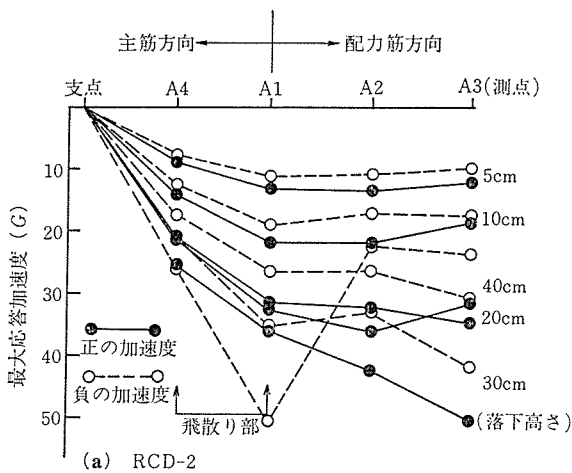
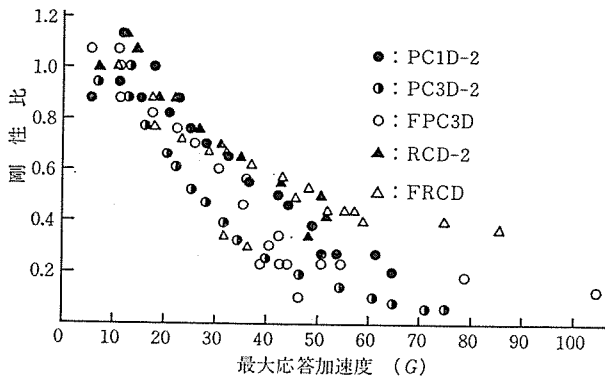


図-14 最大応答加速度分布



図一15 剛性低下と最大応答加速度の関係

のであるが、鋼繊維の混入により高い加速度まで飛散り抵抗を期待できるようになる。

4. ま と め

本研究は、RC、PC版の静、衝撃荷重下での力学的挙動の差異および耐衝撃性評価法の検討の中からPC版の耐衝撃性向上に焦点をあてた基礎的研究である。本研究で得られた主な結果をまとめると次のようになる：

- 1) 衝撃荷重を受けるPC版の破壊は、静的荷重下と比べ押抜きせん断形式となりやすい。また、ひびわれ交点近傍でのかぶりコンクリートの裏面はく離が衝撃荷重下での特徴的な破壊現象である。これらの防止には鋼繊維の混入が有効である。
- 2) 漸増繰返し衝撃荷重下でのPC版の破壊荷重は、ほぼ対応する荷重条件での静的荷重下と比べて小さくなる。このことは、衝撃荷重下でのPC版の累積損傷が静的荷重下より大きいことを示しているものと考えられる。
- 3) 衝撃荷重を受けるPC版の剛性低下の程度はRC版に比べ大きくなる傾向を示し、その程度はプレストレス量の低減とともに大きくなる。これらは鋼繊維の混入によりかなり改善できる。
- 4) RCおよびPC版の弾性範囲内、破壊時における主筋方向平均曲率は、衝撃荷重下で全体的に小さくなる傾向がある。
- 5) 1回の衝撃で加えられる全エネルギー(W_t)と版中央変位の関係は静、衝撃荷重下ともほぼ直線関係

を示し、その勾配より、プレストレス量の増大、鋼繊維の混入が、任意のたわみを生じさせるに必要な外部エネルギーを大にすることがわかる。

- 6) 荷重1回当たりの散逸エネルギー(W_p)と最大ひびわれ幅の間には静、衝撃荷重下とも、ほぼ線形関係がみられ、同一ひびわれ幅を得るに費やされるエネルギーは衝撃荷重下の方が大となる。PC版の場合、このエネルギーはPC3版が最も大きく、PC2、PC1とじん性の高い順になっている。
- 7) 破壊までに加えた全エネルギー(W_T)の比較より、PC1、PC2版の衝撃荷重下での破壊じん性の低下が静的荷重下より大きいものに対し、PC3版ではRC版に近づく。更に、PC鋼材を密に配置すること、鋼繊維の混入が衝撃荷重下での破壊じん性向上に有効となる。
- 8) 衝撃荷重を受けるコンクリート版の裏面はく離発生条件を版の最大応答加速度で評価できると考えると、PC版への鋼繊維の混入が飛散り抵抗を著しく向上させることができる。

謝 辞

本研究に対し、昭和56年度斎藤記念プレストレストコンクリート技術研究奨励金が授与されたことを記し、関係各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 日本コンクリート協会：新年号特別企画，コンクリートにかける夢，コンクリート工学，Vol. 17, No. 1, 1979.1
- 2) Oladapo, I.O. : Dynamic Loading of Prestressed Concrete Beams, Magazine of Concrete Research, Vol. 14, No. 40, 1962
- 3) 宮本，岩崎：アンボンドPC桁の衝撃試験，プレストレストコンクリート，Vol. 18, No. 4, 1976
- 4) 岡田，藤井，小林：プレストレストコンクリート構造学，(株)国民科学社，1979
- 5) 藤井，宮本：衝撃荷重下におけるコンクリート構造物の挙動，コンクリート工学，Vol. 21, No. 9, 1983
- 6) Mills, G.M. : The Yield Line Theory, A Programmed Text for Reinforced Concrete Slabs, Cement and Concrete Association, 1970
- 7) 小柳，大野：PCスラブの耐力および終局時挙動に関する実験的研究，材料，Vol. 29, No. 318, 1980

【昭和58年12月28日受付】