

神戸大学工学部 正員 藤井 学
 神戸大学工学部 正員 宮本 文雄
 神戸大学大学院 学生員 ○境 晃三

1. まえがき

本研究は、高強度コンクリート版のソフトな衝撃荷重下での耐衝撃性を検討するため、普通強度RC版、各種高強度RC版の静的、衝撃試験を実施し、力学的挙動の比較検討を行ったものである。

共同研究者：森川 英典，神大工

2. 実験概要

1) 供試版：表1に示す5種類の版について静的、衝撃試験を行った。全版とも $130 \times 130 \times 13 \text{ cm}$ の正方形版で支間長 120 cm の2辺単純支持とした。混和材は電気化学工業(株)製強度発現剤を使用し、コンクリートの示方配合を表2に示す。

表1 版の種類・記号

供試体	略称	目標強度 (kgf/cm^2)	混和材の有無 (混和材名)	一次養生の有無 (養生要員養生)	二次養生の有無 (高圧高気圧養生)
普通強度RC版	N300版	300	×	×	×
標準高強度RC版	N900版	900	×	×	×
I5000 RC版	I5000版	900	O(I5000)	×	×
I1000 RC版	I1000版	900	O(I1000)	O	×
オートクレープRC版	AC版	900	×	O	O

表2 示方配合

項目	供試体	N300 版	N900 版	I5000 版	I1000 版	AC 版
粗骨材最大寸法(mm)		20	20	20	20	20
スラング (mm)	3±1	3±1	3±1	3±1	3±1	3±1
空気量 (%)	1.5±0.5	1.5±0.5	1.5±0.5	1.5±0.5	1.5±0.5	1.5±0.5
水セメント比 (%)	52	27	30	28	28	28
細骨材率 (%)	41	38	38	40	40	40
単位重量 (kg/m^3)	セメント	350	550	480	500	500
	水	182	152.2	144	140	140
	粗骨材(5号)	435	428	453	655	655
	粗骨材(6号)	647	677	671	436	436
	細骨材	749	648	626	666	712
減水利	混和材			52.8	50	50
			78.9		70	70

2) 実験方法：静的試験においては門型載荷装置を用い、油圧ジャッキにより版中央に設置した載荷板($15 \times 15 \times 1 \text{ cm}$)を介して荷重を加えた。荷重は 2 cm ピッチで増加させ、各荷重段階で下限を 0 cm とする3回の繰返し載荷とした。衝撃試験においては大型振り子式衝撃試験装置を用い、 500 kgf の重錘により衝撃力を加えた。載荷面には載荷板($15 \times 15 \times 1 \text{ cm}$)とゴム板($15 \times 15 \times 1 \text{ cm}$)を重ねて固定した。重錘の落下高さは原位置から 5 cm ピッチで上げていき、各落高で3回繰返した。

3) エネルギー、衝撃力の算定：各載荷ごとの全エネルギーおよび吸収エネルギーは、静的試験では2X-Yレコーダーで得た版中央の荷重-変位曲線より、相当変面積をプランメーターで測定し、また、衝撃試験では、デュータレコーダーに収録した波形(衝撃力、変位)をフーリエ変換し、2次以上の高次振動、ノイズをカットした後、逆フーリエ変換して波形解析機で算出した。衝撃力は、重錘につけた加速度計の最大加速度より算出した。

3. 実験結果および考察

1) 主な実験結果：主な実験結果を表3に示す。最大荷重は、強度が高いもの(N900, I5000, I1000, AC)、特別な養生をほどこしたもの(I1000, AC)、また混和材を混入したもの(I5000, I1000)が高くなっている。最大荷重比(D/S)を見ると、N900版が他の版に比べて小さい。最大たわみは、両荷重下での差があまりなく、版の変形能が両荷重下で差がみられない。破壊形式については、文献で述べられたように、衝撃荷重下の方が押抜きせん断破壊を生じやすいという傾向がみとめられる。

表3 主な実験結果

	ひびわれ 長さ(mm)	ひびわれ 高さ(mm)	最大荷 重(ton)	最大荷 重比(D/S)	最大た わみ(mm)	破壊 形式
N300-S	4-2		20.85	0.97	27.5	せん断
N300-D	6.45	2.5-1	20.18		26	せん断
N900-S	8-1		28.49	0.78	36.4	曲げ
N900-D	9.87	5-1	22.18		32.1	曲げ
I5000-S	8-1		23.42	1.09	44.6	曲げ
I5000-D	10.22	5-1	25.54		39	曲げ
I1000-S	10-1		29.16	1.08		曲げ
I1000-D	12.62	5-1	31.50		27	せん断
AC-S	7-2		29.40	1.06	29.8	曲げ
AC-D	9.99	5-1	31.09		31	曲げ

添字S,D-静的、衝撃；ひびわれ荷重-目視ひびわれ発生荷重

2) 剛性：図1, 2は荷重-変位、衝撃力-変位の関係を示す。静的試験では、コンクリートを高強度化すると、多少の差はみられるが、割線剛性が大きく、急激な剛性低下の時期も高い荷重段階へ移る。一方、衝撃試験では

単に強度をあげるだけでなく、たとえば、セメントの水和反応を促進する蒸気養生あるいは、オートクレーブ養生を実施する方が、剛性の大きさ、急激な剛性低下の時期が普通強度供試版と比べて有利となることがわかる。

3) 全エネルギー：表4に全エネルギーを示す。表4より静的荷重下では、N900版が静的1で大きく、延性に優れていることが、また、AC版、 $\Sigma 1000$ 版は、他の高強度コンクリート版に比べて少し劣ることがわかる。一方、衝撃荷重下では、 $\Sigma 5000$ 版、AC版がじん性に富んでおり、N900版は他の高強度コンクリート版に比べて劣っていることがわかる。

4) 吸収エネルギー（各載荷ごと）：図3にひびわれ幅と吸収エネルギーの関係を示す。図3より両荷重下での差は、初期載荷段階でみられ、衝撃荷重下の方が同一ひびわれ幅に対する吸収エネルギーが大きいことがわかる。 $\Sigma 5000$ 版、 $\Sigma 1000$ 版に見られるように、強度発現剤を混入した版は両荷重とも、同一ひびわれ幅に対する吸収エネルギーが大きく、ひびわれが分散していると考えられ、強度発現剤を混入することはひびわれ幅を拘束する手法として有効であると、考えられる。AC版は、静的荷重下および、衝撃荷重下のひびわれ幅0.4mm以上で、吸収エネルギー量が小さい。これは、ひびわれ本数が少なく、ひびわれが集中しているためであると思われる。つまり、ひびわれ幅と吸収エネルギーの関係はひびわれ本数に依存しているともいえる。

5) 全エネルギー（各載荷ごと）：図4に全エネルギーと変位の関係を示す。両荷重下とも、コンクリートを高強度化すると、同一変位に対する全エネルギーが、N300版より大きく、たわみ剛性の面で優れていると思われる。その傾向は、衝撃荷重下での特別な養生をほどこした版、つまり $\Sigma 1000$ 版、AC版が顕著となっている。

4. 結論

本研究の範囲内では、耐衝撃性を改善するには、図4 全エネルギーと変位の関係 蒸気養生・オートクレーブ養生などの特別な養生の実施、強度発現剤の混入、コンクリートの高強度化などの手段が有効であるといえる。なお本実験の実施にあたり、資材提供等の御援助いただいた電気化学工業(株)に感謝します。

参考文献

- 1) Klaus Brandes: Behaviour of Critical Regions under Soft Missile Impact and Impulsive Loading, Concrete Structure under impact and impulsive loading, Introductory Report, Berlin, June 1982

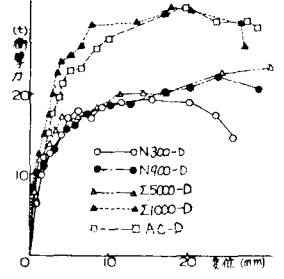
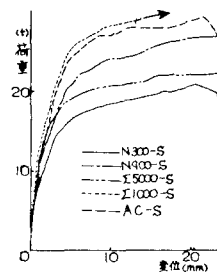


図1 荷重-変位の関係(S) 図2 衝撃力-変位の関係(D)

表4 全エネルギー(単位 kg·cm)

供試版	静的1	衝撃1	衝撃1 静的1	衝撃2	衝撃2 静的1
N300	47160	31011	0.658	43400	0.920
N900	83843	41704	0.497	59200	0.706
$\Sigma 5000$	67305	61570	0.995	75000	1.114
AC	53605	51440	0.933	80000	1.492
$\Sigma 1000$	57549	44350	0.770	70000	1.216

静的1, 衝撃1 — 最大荷重までの全エネルギー
衝撃2 — 最終段階までの全エネルギー

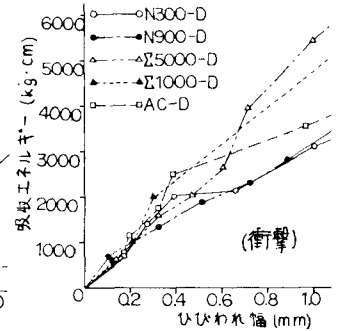
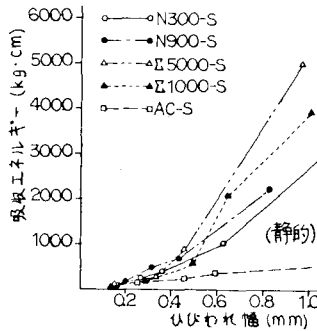


図3 ひびわれ幅と吸収エネルギーの関係

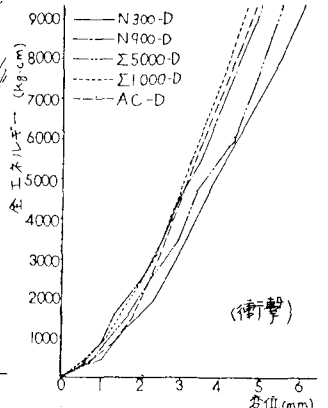
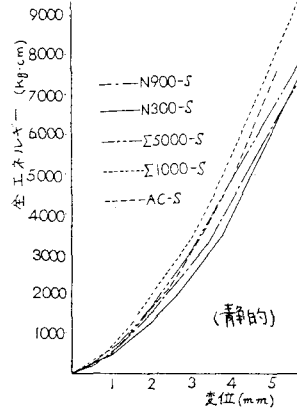


図4 全エネルギーと変位の関係