

(55) 衝撃荷重を受けるRCはりの挙動についての実験的研究

AN EXPERIMENTAL STUDY OF BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE BEAM UNDER IMPACT LOAD

川合裕二*, 森嶋芳大**, 榎谷 浩***, 梶川康男****

Yuji KAWAI, Yoshihiro MORISHIMA, Hiroshi MASUYA and Yasuo KAJIKAWA

* 富山県 (〒930 富山市新総曲輪1-7)

**金沢大学大学院修士課程 工学部土木建設工学科 (〒920 金沢市小立野2-40-20)

***金沢大学助教授 工学部土木建設工学科 (〒920 金沢市小立野2-40-20)

****金沢大学教授 工学部土木建設工学科 (〒920 金沢市小立野2-40-20)

キーワード: 衝撃実験, 破壊形式, 吸収エネルギー, 荷重計測

(impact test, failure mode, absorption energy, measurement of load)

1. まえがき

鉄筋コンクリート(以下RCと呼ぶ)構造の耐衝撃性に対する研究は盛んに行われており¹⁾, RC部材の耐衝撃性を検討する場合, 部材の終局限界変形まで考慮した安全性評価を行うことが望ましいと思われる. しかし, 衝撃下でのコンクリート構造の挙動は静的な場合と大きく異なり, 不明な点が多いのが現状である.

そこで本研究では, 基本的なものとして試験方法の違いが破壊形式, 荷重変位関係さらに吸収エネルギーにどのような影響を及ぼすかを把握するため, 同一形状のRCはりに対する静的荷重試験, 高速載荷試験, 衝撃試験を行っている. また小暮らの衝撃実験での荷重計測に関する報告²⁾を参考に, 2種類のロードセル(ひずみゲージ式, ピエゾ式)とゲージからの換算荷重の3種に対し, 荷重計測の比較を行った.

2. RCはりの衝撃試験

2.1 試験概要

試験で用いた供試体は全て同一形状のもので, 全長180cm, 支間長Lは150cm, 断面は20cm×15cmの複鉄筋はりである. 図-1に供試体の形状寸法, 配筋位置を示す. 今回の供試体に用いたコンクリートと鉄筋の力学的特性を表-1, 2に示す.

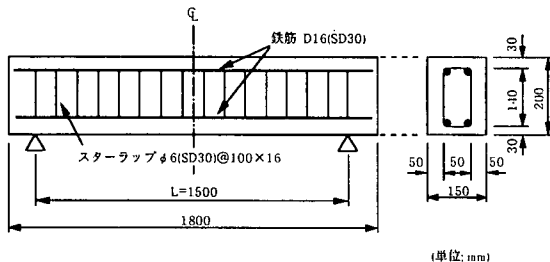


図-1 供試体の形状寸法および配筋位置

表-1 コンクリートの力学的特性

圧縮強度 (kgf/cm ²)	294
引張強度 (kgf/cm ²)	23
弾性係数 (kgf/cm ²)	2.50×10 ⁵
ポアソン比	0.195

表-2 鉄筋の力学的特性

降伏強度 (kgf/cm ²)	3441
弾性係数 (kgf/cm ²)	2.1×10 ⁶

試験方法は載荷・落下方法の違いにより、静的載荷、高速載荷と3種の衝撃試験で計5種類である。衝撃試験は重錘を1度落下する単一落下衝撃試験、さらに数回落下を行う繰り返し落下試験であり単一落下衝撃試験は2カ所の落下点で行った。表-3に供試体名、載荷方法の一覧を示す。なお繰り返し落下は静的載荷試験での終局限界変位を越えるまで落下を繰り返した。

試験は静的、高速載荷にサーボパルサを用い、衝撃試験は図-2に示す重錘落下式試験装置を用いた。この装置の重錘は鉄板を重ねロードセルを取り付けたものであり重量315kgfである。衝撃試験ではこの重錘を所定の位置から自由落下させている。なお衝突時、はりの跳ね上りを防止するため支点上部は治具により固定されている。治具ははりの回転を許容するピン支持構造である。衝撃試験では、荷重を衝撃試験用ロードセルにより計測し、載荷・落下点での変位はレーザー変位計により測定した。計測したデータは、データレコーダーのメモリーに記録(サンプル時間: 20 μ sec)した後、光磁気ディスクに記録した。

表-3 供試体名の一覧

供試体名	載荷方法(落下高さ)	載荷・落下位置
STA	静的載荷	支間中央
HSL	高速載荷	支間中央
S200	単一落下(200cm)	支間中央
S200Q	単一落下(200cm)	支点よりL/4
R50	繰り返し落下(50cm)	支間中央

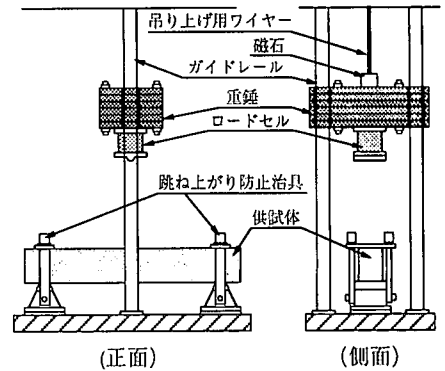


図-2 重錘落下式試験装置

2.2 各試験での破壊性状

各供試体の破壊性状を図-3に示す。静的載荷では曲げ破壊を生じており、はり全体に曲げひび割れが発生している。高速載荷でも曲げ破壊を生じたが、終局状態では載荷点からの大きなせん断ひび割れが生じた。高速載荷での曲げひび割れは静的載荷に比べると支間中央に集中するものであった。単一落下であるS200では落下点での押し抜けせん断破壊と曲げ破壊が生じた。S200Qでは落下点での押し抜けせん断破壊と、遠支点間で曲げ破壊および近支点間でのせん断破壊と3つの破壊モードが見られた。R50では落下1回目では曲げ破壊が生じ、その後落下回数を重ねると支間中央での押し抜けせん断ひび割れが卓越していくものであった。この押し抜けせん断ひび割れは曲げによるひび割れをもとに発達してくるものである。R50では衝突部のコンクリートが落下を重ねることで砕けていき、落下5、6回目では重錘の本来衝突部でないエッジで衝突した。繰り返し試験では落下6回目で静的載荷での終局限位を越えたため試験を終了した。衝撃試験では、静的・高速載荷試験では見られないはり上部からのひび割れが認められた。

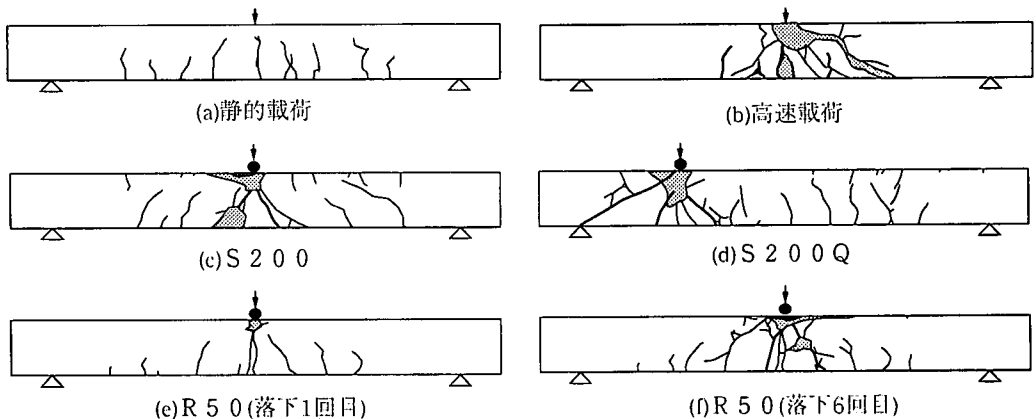


図-3 各試験体の破壊性状

2.3 荷重変位関係

各試験での荷重-変位関係を図-4に示す。なお、繰り返し落下であるR50は重錘落下後の最終変位から次の荷重-変位曲線を重ねており、全落下回数(6回)を同時に示した。

各試験の最大荷重は、静的載荷を基準とすると高速載荷では約1.1倍、S200では約5倍、R50の落下1回目では約2倍となった。S200とR50の結果から落下高さが4倍となると最大荷重は約1.8倍となる。R50では落下回数を重ねると、最大荷重が小さくなっていき、落下5、6回目で最大荷重は大きくなっている。最大荷重が小さくなるのははりの衝突部のコンクリートが砕けていき緩衝材の役割をするためと考えられる。落下5、6回目で最大荷重が上昇するのは、衝突部のコンクリートでなく近傍の健全なコンクリートに重錘のエッジ部が衝突するためである。S200QはS200に比べ、その最大荷重は約0.9倍であり、落下位置による最大荷重の違いは見られなかった。

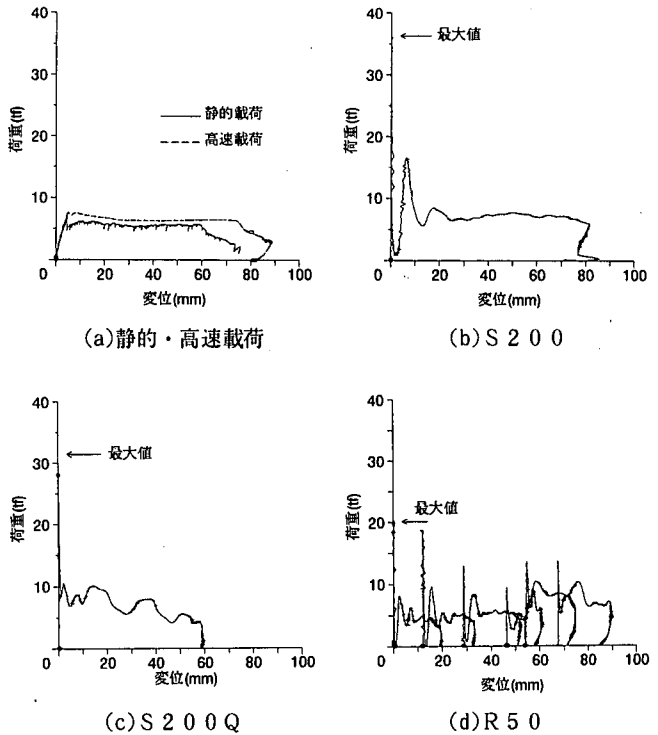


図-4 各試験の荷重-変位関係

衝撃試験での荷重-変位曲線の形状に注目

すると、支間中央打撃であるS200やR50では1打撃目の後、瞬間的に荷重がゼロとなり、再びはりに荷重が作用している。これは1打撃目の後、はりと重錘が一度離れるものの、重錘はその後2打撃目の衝突をしていると考えられる。そして2打撃目では一定の荷重で変位が増大している。これは静的載荷や高速載荷で見られた形状によく似ており、曲げ破壊が進行していると考えられる。一方落下点が支点よりL/4の位置であるS200Qでは1打撃目の後荷重は作用し続け徐々に減少しており、支間中央打撃(S200)に比べ変形が小さい60mm程度で荷重がゼロとなっている。これは打撃点が支点に近いため、はり全体の変形応答が生じにくく、打撃点から支点へのせん断破壊が生じているためと考えられる。

2.4 吸収エネルギー

はりの吸収エネルギーと変位の関係を図-5に示す。なお、図中にはS200での入力エネルギー値を波線で示している。

同一変形量、例えば60mmでの吸収エネルギーを比較すると、静的載荷、高速載荷、繰り返し落下、単一落下(S200)、単一落下(S200Q)の順で吸収エネルギーは大きくなる。また同一吸収エネルギー、例えば300tf・mmでの変形量はS200Qは他の試験より変形が小さく脆性的な破壊であることが確認できる。

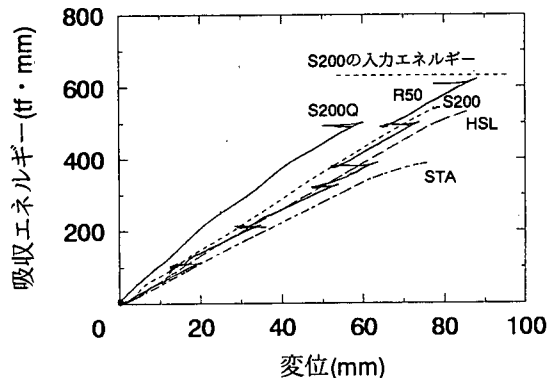


図-5 吸収エネルギーと変位の関係

3. 荷重計測に関する一考察

今回の実験は衝撃実験用ロードセル（ピエゾ式）、一般用ロードセル（ひずみゲージ式）、さらに半導体ゲージによる換算荷重、計3種類の荷重計測を行った。実験で使用したロードセル及びひずみゲージの仕様を表-4に示す。ここに掲載する衝撃実験は前項でのS200での結果である。

表-4 ロードセル, ゲージの仕様

	一般用ロードセル	衝撃用ロードセル	ゲージからの換算
製品名	東京測器 KC-100A	PCB社 207B	共和電業 (半導体ゲージ) KSP-6-350-E4
固有振動数	—	15kHz	—
荷重変換方式	ひずみゲージ式	ピエゾ式	ひずみゲージ式
容量	100tf	45tf(100000lb)	—

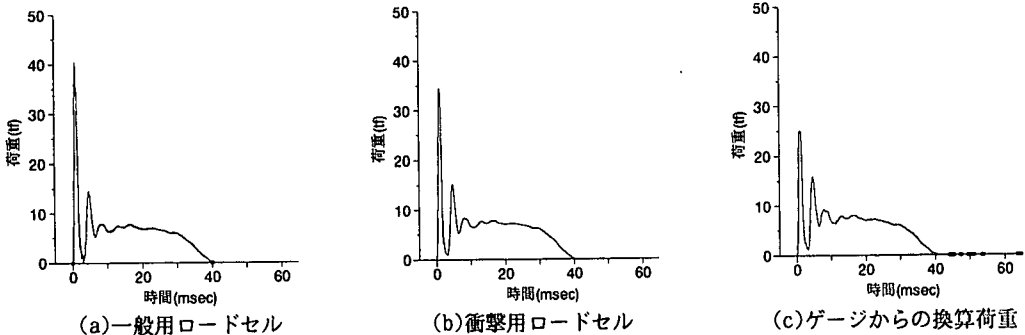


図-6 荷重の時間応答

実験から得られた荷重の時間応答を図-6に示す。それぞれの最大荷重は大きい方から一般用ロードセル、衝撃用ロードセル、ゲージによる計測の順であるが、2打撃目以降はいずれもほぼ同じ波形を計測していると言える。打撃初期の荷重波形の最大値以外での荷重計測法による有意な差はないことが分かる。図-7にそれぞれのスペクトル解析結果を示す。いずれの荷重計測法も12Hz, 256Hzの低周波成分が卓越しており、荷重計測法による差は見られない。

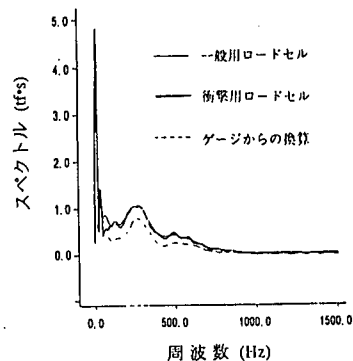


図-7 スペクトル解析

4. まとめ

本研究ではRCはりに対し載荷・落下条件を変えて実験を行い、衝撃現象下での破壊形式や吸収エネルギーについての検討を行った。さらに衝撃実験の中でとりわけ重要となる荷重計測について、3種の荷重計測を行い、その結果を比較・考察を行った。本研究で得られた成果は以下のように要約できる。

- (1) 載荷・落下点が支間中央では支配的な破壊形式は曲げ破壊で、支点よりL/4離れた点ではせん断破壊であった。
- (2) 同一変形量でのエネルギー吸収能は、単一落下(S200Q), 単一落下(S200), 高速載荷, 静的載荷の順に高い結果となった。
- (3) 本研究のように比較的低速度(6m/s)の衝撃試験では、一般用ロードセル, 衝撃用ロードセルに有意な差はない。

参考文献

- 1) 土木学会衝撃問題研究小委員会：構造物の衝撃挙動と設計法，土木学会，構造工学シリーズ6，1994, 1
- 2) 小暮他：落錘衝撃実験における荷重計測に関する一考察，土木学会第50回年次学術講演会，pp. 1064-1065，平成7年9月。