

重錘落下による構造部材の衝撃応答に関する実験的研究

IMPACT BEHAVIOR OF STRUCTURAL MEMBER BY FREE FALL OF A WEIGHT

中田 吉彦*、熊谷 貴秀**、榎谷 浩***、梶川 康男****

Yoshihiko NAKATA, Takahide KUMAGAI, Hiroshi MASUYA and Yasuo KAJIKAWA

*工修 金沢大学大学院 自然科学研究科後期課程 (〒920-8667、金沢市小立野 2-40-20)
(小松市 都市整備部駅周辺整備課)

**金沢大学大学院 自然科学研究科前期課程 (〒920-8667、金沢市小立野 2-40-20)

***工博 金沢大学助教授 工学部土木建設工学科 (〒920-8667、金沢市小立野 2-40-20)

****工博 金沢大学大学院教授 自然科学研究科 (〒920-8667、金沢市小立野 2-40-20)

キーワード：衝撃、RCはり、吸収エネルギー、曲率
(impact, RC beam, absorbed energy, curvature)

1. まえがき

山地が国土の大半を占める我が国においては、記憶に新しいものとして平成8年の豊浜トンネルの岩盤崩落事故で多くの犠牲者が出たことから、山岳地における安全な交通の確保が要求されている。しかしながら、落石等の衝突による衝撃荷重下での鉄筋コンクリート(以下 RC と呼ぶ)構造の挙動は静的な場合と比べて大きく異なることが知られており、不明な点が多いのが現状である。最近では、計測技術の進歩により、従来測定困難とされていた現象も徐々に解明されるに至っており、耐衝撃性に対する研究が盛んに行われている¹⁾²⁾。

構造物の挙動を知る上では構造を構成する個々の部材の衝撃破壊挙動を解明することが必要とされる。このような観点より本論文では、もっとも基本的な部材である RC はり衝撃破壊挙動の解明をめざし、静的実験と重錘落下衝撃実験を行った。

2. 実験概要

図-1 に実験に用いた供試体の諸元の一例を示す。

衝撃実験には、図-2 に示すような重錘落下実験装置を使用した。これは、質量約 14kg の鋼板を所定の質量に重ね合わせたものとロードセルとを一体化した重錘を、磁石を用いて所定の高さまで釣り上げ自由落下させる自由落下式の実験装置である。はりの支点部ではリバウンドを防ぐため、鋼製の治具により上下方向変位を拘束した。

静的および衝撃実験における供試体および載荷方法の一覧を示したものが表-1 である。

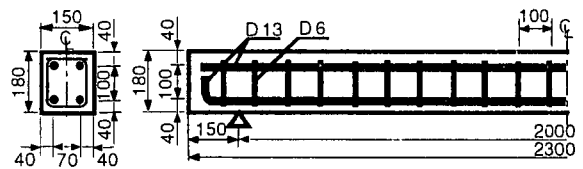


図-1 供試体諸元

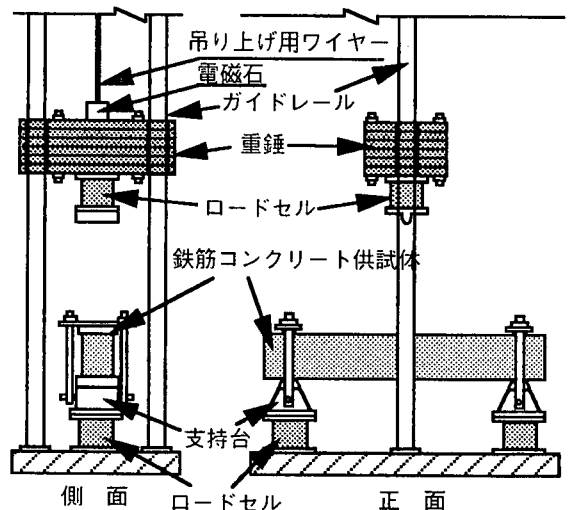


図-2 重錘落下式実験装置図

3 実験結果および考察

3.1 破壊状況

図-3 は、各スパンにおける破壊状況を示したものである。静的実験において、スパン 200cm やスパン 110cm では、はり中央の上面の圧壊や剥離と広い範囲に曲げひびわれが認められ、載荷点を中心に曲げ破壊をしていることが確認できる。スパン 70cm では、はり中央の上面で圧壊や剥離が確認

表-1 供試体名一覧

No.	供試体		観荷方法			
	供試体名	供試体種類	観荷点	質量 (kg)	落下高さ (cm)	衝突速度 (m/sec)
静的実験	1	A4S1	TYPE-A4	スパン中央	-	-
	2	A4S2	TYPE-A4	スパン3/10点	-	-
	3	A4S3	TYPE-A4	スパン2/10点	-	-
	4	B4S1	TYPE-B4	スパン中央	-	-
	5	C4S1	TYPE-C4	スパン中央	-	-
	6	C8S1	TYPE-C8	スパン中央	-	-
	7	C0S1	TYPE-C0	スパン中央	-	-
衝撃実験 (単一落下)	8	A4D1(H5)-1	TYPE-A4	スパン中央	194	128
	9	A4D1(H5)-2	TYPE-A4	スパン中央	194	128
	10	A4D2(H5)-1	TYPE-A4	スパン3/10点	194	128
	11	A4D2(H5)-2	TYPE-A4	スパン3/10点	194	128
	12	A4D3(H5)-1	TYPE-A4	スパン2/10点	194	128
	13	A4D3(H5)-2	TYPE-A4	スパン2/10点	194	128
	14	A4D1(L4)-1	TYPE-A4	スパン中央	109	100
	15	A4D1(L4)-2	TYPE-A4	スパン中央	109	100
	16	A4D1(L6)-1	TYPE-A4	スパン中央	109	227
	17	A4D1(L6)-2	TYPE-A4	スパン中央	109	227
18	B4D1(H5)-1	TYPE-B4	スパン中央	194	128	
19	B4D1(H5)-2	TYPE-B4	スパン中央	194	128	
20	C4D1(H5)-1	TYPE-C4	スパン中央	194	128	
21	C4D1(H5)-2	TYPE-C4	スパン中央	194	128	
22	C4D1(H3)-1	TYPE-C4	スパン中央	194	46	
23	C4D1(H3)-2	TYPE-C4	スパン中央	194	46	
24	C8D1(H3)-1	TYPE-C8	スパン中央	194	46	
25	C8D1(H3)-2	TYPE-C8	スパン中央	194	46	
26	C0D1(H3)-1	TYPE-C0	スパン中央	194	46	
27	C0D1(H3)-2	TYPE-C0	スパン中央	194	46	

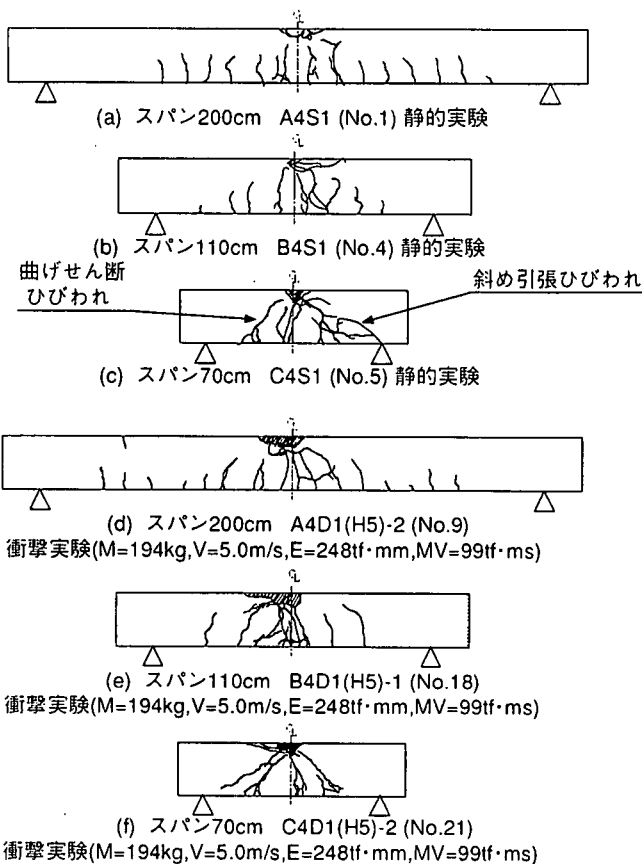


図-3 破壊状況

でき、またはり下面では、曲げせん断ひびわれや斜め引張ひびわれが進展し、最終的にはせん断破壊に至っていることがわかる。一方衝撃実験においては、スパン 200cm では、静的実験の同じケースに比べてひびわれの領域が広いことが確認でき、

また載荷点付近での曲げせん断ひびわれと負の曲げモーメントによるはり上面でのひびわれも確認できる。スパン 70cm では、静的実験の同じケースに比べてはり上面の圧壊や剥離、曲げせん断ひびわれや斜め引張ひびわれがはっきり現れ、押し抜きせん断破壊に至っていることがわかる。

3.2 荷重、変位の応答特性

図-4 は、各スパンにおける衝撃実験の荷重波形、変位波形を示したものである。荷重波形より、スパンが長いほど荷重作用時間が大きく、力積が小さいことがわかる。また荷重の最大値はスパンが長いほどわずかながら大きくなっている。また変位波形より、スパン長に対する最大変位の割合は、それぞれスパン 200cm で 0.031, 110cm で 0.034, 70cm で 0.026 であり、スパンの相違による傾向は見られなかった。これより、衝突初期の荷重にははりの慣性力が関係し、はりの質量が大きいほど最大荷重が大きい。その後ははりに変位が生ずるためスパン長が大きいほど作用時間が長くなるものの発生荷重が小さくなり結果として力積は減少したものと考えられる。

3.3 吸収エネルギー

ここでは、はりの変形に費やされる吸収エネルギーについて考察する。なお、吸収エネルギーとは荷重-変位曲線を積分して得られた値である。用いる荷重は、載荷点荷重 P と支点反力 R とし、変位はスパン中央のはり下面の変位 δ である。

図-5 はスパンの相違による吸収エネルギーを比較したものである。載荷点荷重より求めたエネルギーは、スパンが長いほど減少することがわかる。これは力積と相関があり、載荷点の力積が大きいほど吸収エネルギーが大きくなっている。スパン長の相違により $P-\delta$ 曲線は大きく異なり、荷重の最大値と変位の最大値からエネルギーは単純に定まらないことがわかる。反力より求めたエネルギーに関しては、スパンの相違による影響は認められなかった。

3.4 はりの曲率分布

ここでは静的及び衝撃実験において、載荷条件及びせん断スパン比の異なる供試体に関して、各測点の鉄筋ひずみから求めた曲率分布の考察を行い、さらに曲率分布から塑性状態に到達している領域の長さを比較、検討する。スパン長(せん断スパン比)は、70cm($a/d=2.14$), 110cm($a/d=3.92$), 200cm($a/d=7.14$)の3種である。なおここでは、はりの曲率を(下側鉄筋ひずみ-上側鉄筋ひずみ)/(上側鉄筋と下鉄筋間の距離)とした。

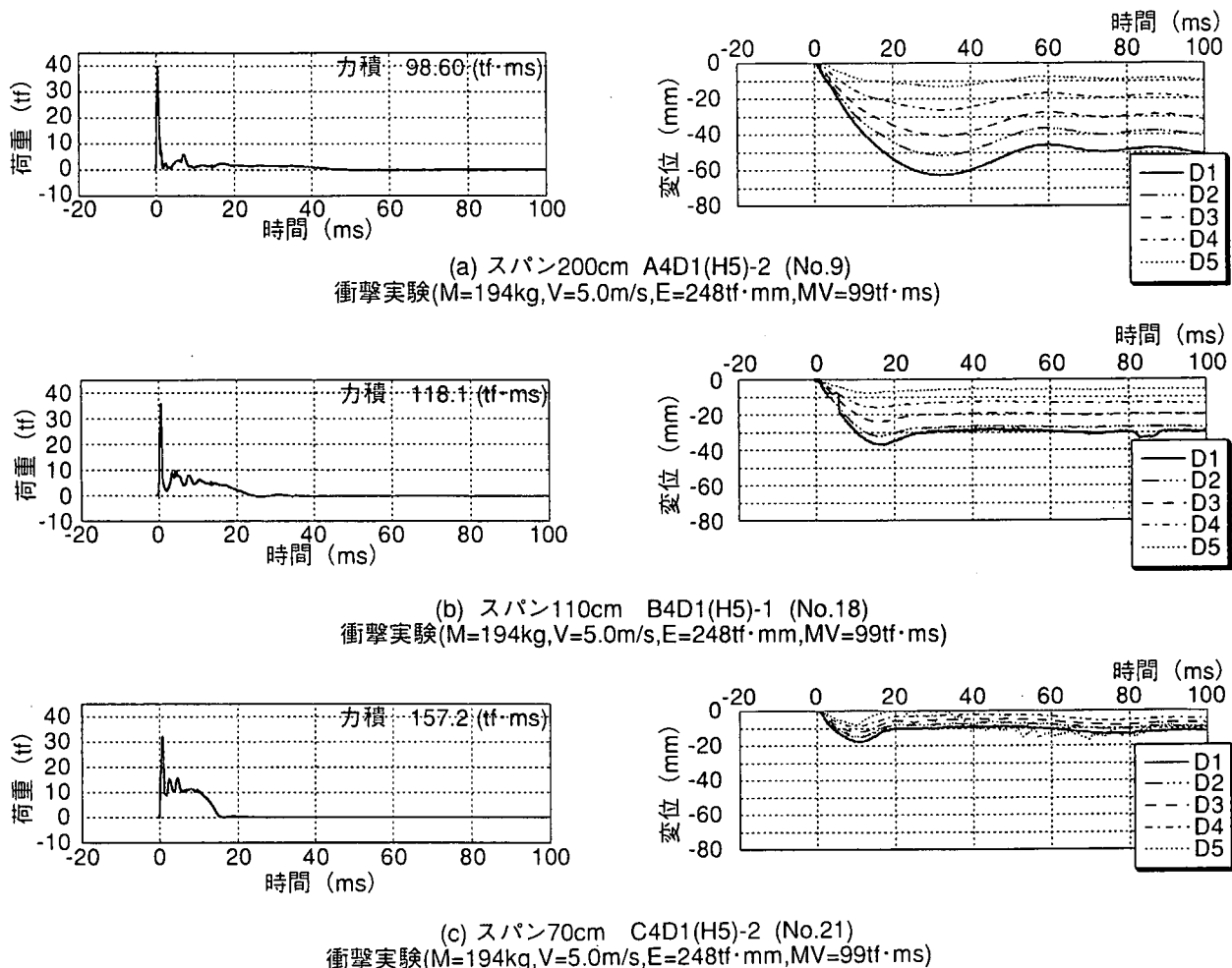


図-4 スパンの相違による影響

(1) 静的実験

図-6 は、各スパンにおける降伏点及び終局点に対応した各測点の曲率分布を示したものである。ここで、ハッチの部分は引張鉄筋が降伏し塑性状を意味し、この領域で塑性回転が生じていることが考えられる。ここで塑性状態に達している領域の長さを L_{ps} (以後、静的塑性長さと呼ぶ)とすると、スパン200cmでは L_{ps} は80cm、スパン110cmでは L_{ps} は44cm、スパン70cmでは L_{ps} は35cmであることがわかる。これよりスパン長 L に対する静的塑性長さの比(L_{ps}/L)は、破壊形態が曲げ破壊型のスパン200cmおよび110cmの場合でスパン長の0.4程度、破壊形態がせん断破壊型のスパン70cmの場合で、スパン長の半分程度であり、スパン長が短いほどその割合が大きいくことがわかる。

(2) 衝撃実験

図-7 は、スパン長の異なる場合の曲率分布を示したものである。衝撃実験においては、はり上面の圧壊・剥離やはり下面から上面へ向かうひびわれ等が載荷点近傍に顕著に現れるため、曲率分布は載下点近傍に集中し、載荷点近傍とそれ以外とで

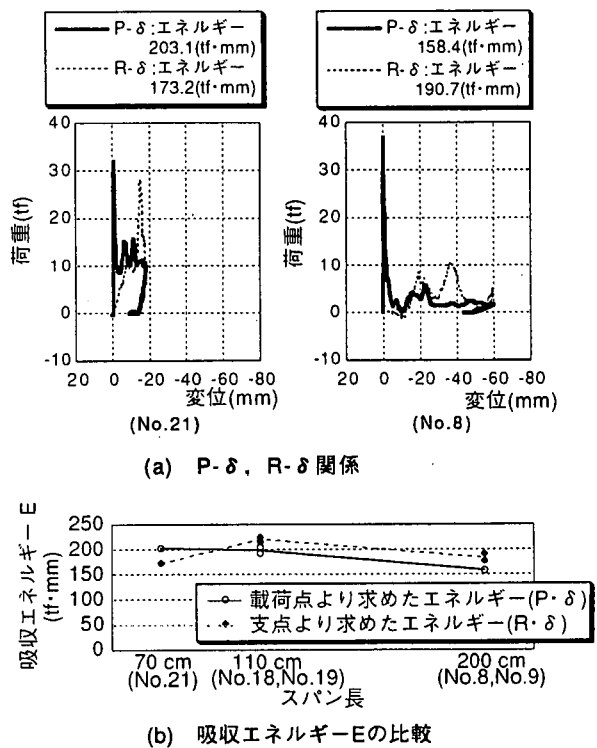
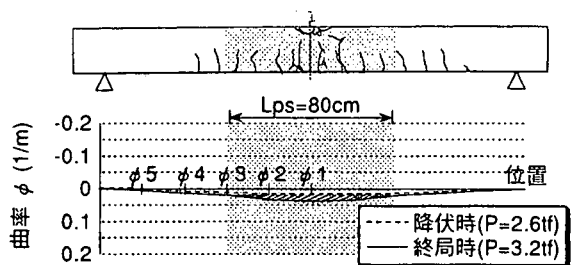
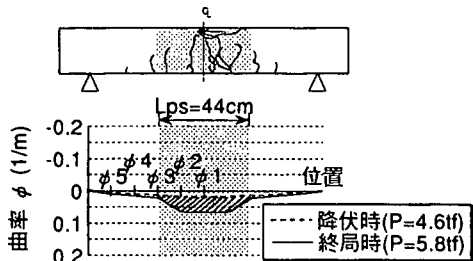


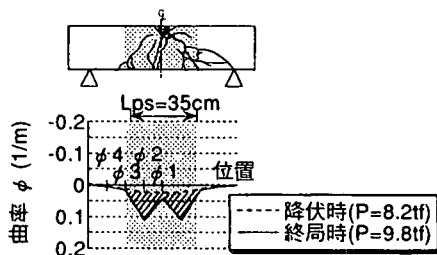
図-5 スパンの相違による影響(吸収エネルギー)



(a) スパン 200cm A4S1 (No.1)



(b) スパン 110cm B4S1 (No.4)



(c) スパン 70cm C4S1 (No.5)

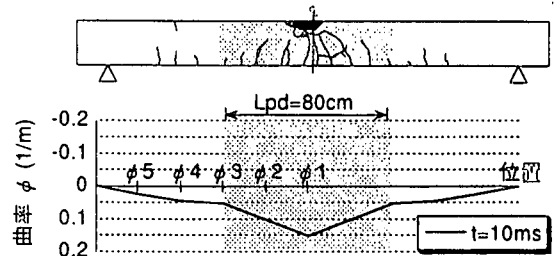
図-6 各スパンにおける降伏時及び終局時の曲率の状況(静的実験)

凹凸が生じる。そのため降伏点や終局点については、衝撃実験では静的実験のように降伏点や終局点が明確に判断できない。ここでは、急激な曲率変化点により判断して、動的塑性長さ(L_{pd})を定めた。これより各スパンにおける動的塑性長さを検討すると、スパン 200cm : $L_{pd}=80\text{cm}$, スパン 110cm : $L_{pd}=22\text{cm}$, スパン 70cm : $L_{pd}=52.5\text{cm}$, と推定できる。これより曲げ破壊型のスパン 200cm および 110cm について、動的塑性長さは、スパン長の 0.2~0.4 程度、静的塑性長さの半分から同等程度であることはわかる。また、せん断破壊型のスパン 70cm について、動的塑性長さは、スパン長の 0.8 程度、静的塑性長さの 1.5 倍程度であることがわかる。

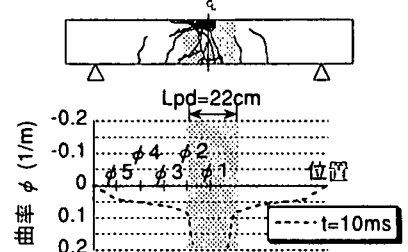
4. まとめ

本研究で得られた主な結論は、以下の通りである。

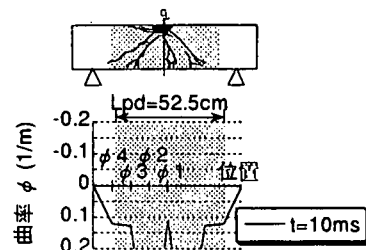
1. 各種条件下の鉄筋コンクリートはりのひびわれ性状ならびに破壊性状について実験的にその特徴を明らかにした。
2. スパン中央点に衝撃を受ける場合、スパン長は、最大荷重、荷重作用時間と正の相関関係



(a) スパン 200cm A4D1(H5)-2 (No.9)
衝撃実験($M=194\text{kg}, V=5.0\text{m/s}, E=248\text{tf}\cdot\text{mm}, MV=99\text{tf}\cdot\text{ms}$)



(b) スパン 110cm B4D1(H5)-1 (No.18)
衝撃実験($M=194\text{kg}, V=5.0\text{m/s}, E=248\text{tf}\cdot\text{mm}, MV=99\text{tf}\cdot\text{ms}$)



(c) スパン 70cm C4D1(H5)-1 (No.20)
衝撃実験($M=194\text{kg}, V=5.0\text{m/s}, E=248\text{tf}\cdot\text{mm}, MV=99\text{tf}\cdot\text{ms}$)

図-7 各スパンにおける曲率の状況(衝撃実験)

があり、力積、吸収エネルギーと負の相関関係にあることがわかった。

3. 静的荷重を受ける場合、スパン長 L に対する載荷点近傍の曲率分布から判断した静的塑性長さ L_{ps} の比(L_{ps}/L)は、破壊形態が曲げ破壊型のスパン 200cm および 110cm の場合は 0.4 程度、せん断破壊型のスパン 70cm の場合は 0.5 程度であり、スパン長が短いほどその割合が大きかった。
4. 衝撃実験においては、スパン長 L に対する動的塑性長さの比(L_{pd}/L)は、曲げ破壊型のスパン 200cm, 110cm の場合で 0.2~0.4 程度であり、静的塑性長さの半分から同等程度であることがわかった。またせん断破壊型のスパン 70cm の場合では 0.8 程度で、静的塑性長さの 1.5 倍程度であることがわかった。

参考文献

- 1) 土木学会：構造工学シリーズ 8、ロックシェットの耐衝撃設計、1998 年。
- 2) 岸徳光, 三上浩, 安藤智啓：せん断破壊型 RC 梁の耐衝撃性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.1689-1699, 1999 年 3 月。