

(34) 構造形式の異なるロックシェッド模型の衝撃載荷実験

IMPACT TEST OF ROCK-SHED MODELS OF VARIOUS STRUCTURAL TYPES

佐藤弘史*, 今野久志**, 長尾彰洋***, 若林修****

Hiroshi SATO, Hisashi KONNO, Akihiro NAGAO and Osamu WAKABAYASHI

- *工博 構造研究室長 建設省土木研究所（〒305 つくば市大字旭一番地）
- ** 構造研究室研究員 建設省土木研究所（〒305 つくば市大字旭一番地）
- *** 構造研究室研究員 建設省土木研究所（〒305 つくば市大字旭一番地）
- **** 社団法人 プレストレスト・コンクリート建設業協会（〒162 東京都新宿区津久戸町4-6）

キーワード：ロックシェッド, 衝撃力, 重錘衝撃力
 (rock-shed, impact force, weight impact force)

1. はじめに

RC製およびPC製ロックシェッドの両者の長所を兼ね備えた耐衝撃性および施工性に優れたロックシェッド開発のための基礎的な研究として、ロックシェッドの構造系が耐衝撃性に及ぼす影響を調べるために主梁の鉄筋比および各接合部の構造形式を変化させた全体系模型を製作し、重錘落下による単発載荷衝撃実験により耐衝撃挙動の違いについて比較検討を行った。

2. 供試体の設計

供試体は、主梁部材、山側擁壁および柱部材よりなる門形の構造に底版を設けたものである。構造形式は、主梁・山側擁壁部および柱・底版部をヒンジ構造とし、主梁・柱部を剛節とした2ヒンジ逆L形式と、全ての接合部を剛節とした門形式の2種類であり、これに構造形式は逆L形式で主梁の鉄筋量が異なる1種類を加えた以下の3種類の供試体を製作した。

- ・C-1 供試体：1 剛節 2 ヒンジ逆L形式（基本構造タイプ）
 - ・C-1K 供試体： " (C-1の主梁の鉄筋比を増加し、擁壁ハレットを補強したもの)
 - ・C-4K 供試体：3 剛節 0 ヒンジ門形式（主梁・擁壁部、柱・底版部を鉄筋コンクリートで剛接したもの）
- 供試体の設計は、以下のような条件に基づいて計算を行い、断面諸元を決定した。

- ・設計落石荷重：6.4tf（集中荷重）
- ・許容応力度等（落石時、主梁）： $\sigma_{ca} = 270\text{kgf/cm}^2$
 $\sigma_{sa} = 2,700 "$

各供試体の落石時作用曲げモーメント(MD)、抵抗曲げモーメント(MR)、破壊抵抗曲げモーメント(MU)は、表-1のとおりであり、設計時の安全率(MR/MD)が3供試体とも、ほぼ同じ程度になるように供試体を設計した。図-1に供試体の形状寸法(C-4K)を、図-2に主梁断面の配筋図を示す。

表-1 供試体の抵抗モーメント（設計時）

	C-1	C-1K	C-4K	
	中央	中央	中央	山側
作用モーメント(MD)	3.41	3.41	2.42	-2.23
抵抗モーメント(MR)	3.93	3.93	2.80	-2.51
安全率(MR/MD)	1.15	1.15	1.16	1.13
破壊抵抗モーメント(MU)	7.16	5.84	4.34	-3.35
安全率(MU/MD)	2.10	1.71	1.79	1.50

3. 静的載荷実験

3.1 実験概要

静的載荷実験は、主梁中央断面（擁壁と柱部材の中心から1250mmの位置）に衝撃載荷実験での載荷面積と等しくなるように幅200mmの鋼製載荷板を設置し、1点集中荷重として載荷した。また、載荷方法は、スクリージャッキシステムによる高剛性試験装置（容量100tf）を用い、変位制御方式によって破壊に至るまで漸次増加荷重を加えた。

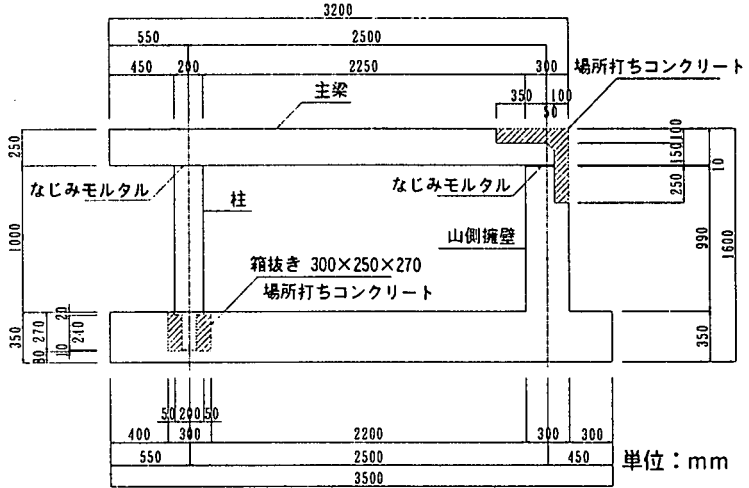


図-1 供試体形状寸法 (C-4K)

3.2 実験結果

(1) 荷重と変位の関係

図-3は、3種類の供試体の荷重と主梁中央変位の関係を示したものであるが、ほぼ同様な挙動を示している。

C-1供試体は、 $P=2.5\text{tf}$ のとき初期ひび割れが発生した。その後荷重増加に伴い新たなひび割れが発生し、これらのひび割れは載荷点への伸展と同時にひび割れ幅が増加した。また、主梁上縁のコンクリートが剥離始めると荷重が増加しにくくなり、最大荷重18.4tfを示した後は、たわみのみが増加する状態となり、変位量156mmで曲げ引張的な破壊を確認し載荷を終了した。

C-1K供試体は、 $P=2.9\text{tf}$ のとき初期ひび割れが発生し、最大荷重は16.4tfであった。供試体の耐力低下は、主梁の中央断面付近における引張側鉄筋が2本破断し、同時にコンクリートの圧壊が進んだ時点で起こり、曲げ引張的な破壊を示した。

C-4K供試体は、 $P=5.0\text{tf}$ のとき初期ひび割れが発生した。また、 $P=7.0\text{tf}$

で主梁部材と擁壁部の接合部における打継ぎ面にひび割れが発生し、荷重の増加と共に斜めひび割れが増加した。最大荷重17.5tf以降は、たわみのみが増加する状態となり、供試体の耐力低下は主梁中央断面付近の引張側鉄筋が1本破断し、その後PC鋼材が1本破断した時点で起こり、曲げ破壊を示した。

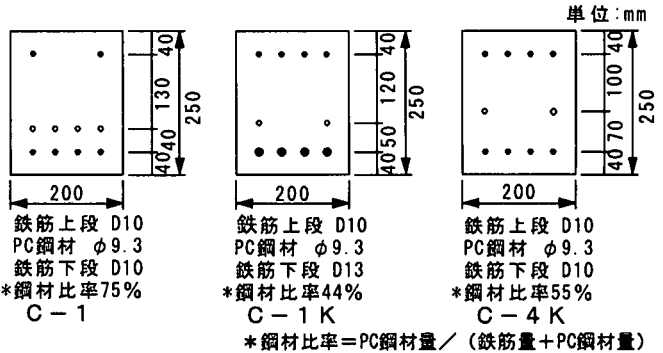


図-2 主梁断面の配筋図

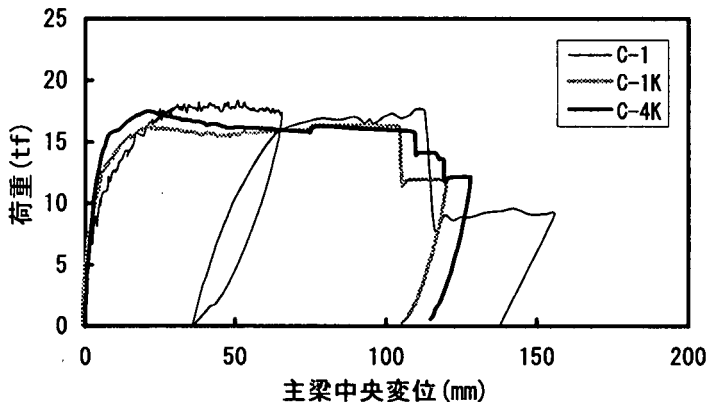


図-3 静的載荷実験結果 (P-δ関係)

(2) ひび割れ発生状況

各供試体の載荷実験終了後のひび割れ発生状況を図-4に示す。C-1およびC-1K供試体の主梁部材については、スパン中央断面における曲げひび割れと、柱部材との接合部における負の曲げモーメントによるひび割れが確認された。一方、柱部材については、C-1供試体では柱部材の両接合部に曲げモーメントによるひび割れが発生したのに対し、C-1K供試体は柱上部の擁壁側コンクリートが比較的初期の段階より圧壊を生じ、ヒンジ化したせいか、柱部材にひびわれが発生しなかった。

C-4K供試体については、主梁のスパン中央断面における曲げひび割れと主梁と柱部材の接合部における負の曲げモーメントによるひび割れおよび主梁と擁壁部との接合部における斜めひび割れが発生している。

4. 衝撃載荷実験

4.1 実験概要

衝撃載荷実験は図-5に示すように、当所所有の衝撃載荷試験装置を用い、重量1tfの平底重錘を所定の高さから主梁中央部に自由落下させて載荷している。この際、主梁中央には、単位体積重量 $30\text{kgf}/\text{m}^3$ 、厚さ25cmの発泡スチロール(EPS)を緩衝材として設置し、衝撃荷重の載荷時間を緩和している。衝撃荷重の載荷面積は、 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ である。実験は、単発載荷時における供試体の破壊までの荷重-変位関係がプロットできるように、各供試体とも3体ずつ用意し、繰り返し載荷実験の結果を参考にして落下高を決定した。表-2に実験ケースを示す。

計測は、図-6に示す計測ブロックに従って、重錘および主梁の加速度、供試体各部の変位、コンクリートのひずみをサンプリング周波数 2kHz でデジタルデータレコーダに収録した。

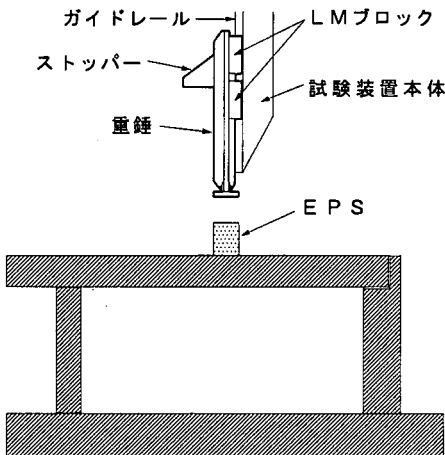


図-5 実験概要

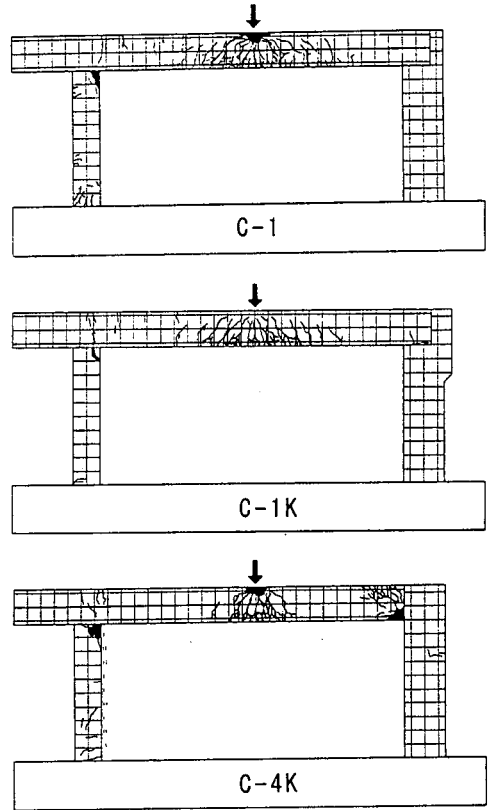


図-4 ひび割れ発生状況

表-2 実験ケース

供試体	重錘重量	落下高
C-1	1tf	2.0m, 2.25m, 2.5m
C-1K	1tf	2.5m, 3.0m, 3.5m
C-4K	1tf	2.5m, 3.0m, 3.5m

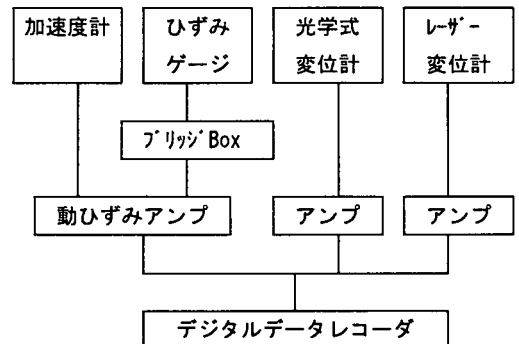


図-6 計測ブロック

4.2 実験結果

(1) 加速度波形

図-7は、構造形式の異なるC-1K供試体とC-4K供試体の落下高3.5mの実験での重錘加速度波形である。

両波形とも、重錘衝突後急激に立ち上がり最大値を示している。その後の波形は供試体によって多少異なっており、C-1Kは、第1ピーク発生後に最大値の5割程度の第2のピークがあり、その後は台形状の波形となっている。C-4Kは、C-1Kでみられた台形状の平坦部がなくピーク以降比較的なめらかに減少している。重錘衝突からピーク値までの時間は両供試体とも約30msec、波形の継続時間はC-1Kが約150msec、C-4Kが約200msecとなっている。その後のリバウンドによる波形については、C-1Kの方がC-4Kに比較しピーク値が大きくまた载荷時間が短くなっている。

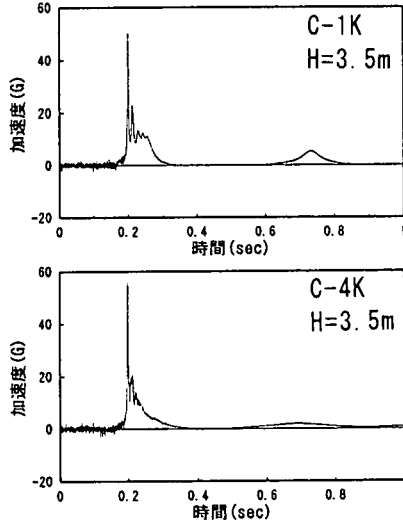


図-7 加速度波形

(2) 重錘衝撃力と落下高の関係

単発载荷実験における重錘衝撃力と落下高の関係を図-8に示す。ここで、重錘衝撃力は、重錘重量に重錘の最大加速度を乗じたものである。重錘衝撃力は、落下高の増加に伴い比例的に増加している。供試体別の傾向をみると、落下高3mまでは、同じ落下高では、逆L形式のC-1K、門形式のC-4K、逆L形式C-1の順に重錘衝撃力が多少大きくなっている。

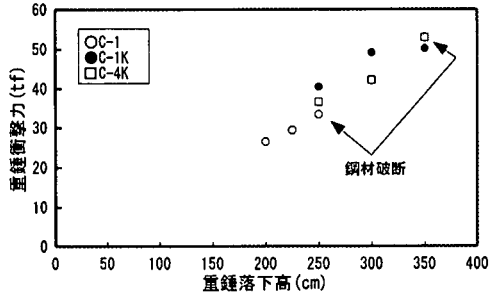


図-8 重錘衝撃力と落下高の関係

(3) 重錘衝撃力と主梁中央変位の関係

衝撃载荷実験の重錘衝撃力と主梁中央変位の関係を図-9に示す。静的载荷実験では荷重15tf以降から荷重増加が少なくなり変位のみが進行するようになるが、衝撃载荷実験での重錘衝撃力と変位の関係では、C-1が約30tf、C-1Kが約50tf、C-4Kでは主梁の鋼材が落下高3.5mで破断したにもかかわらず約55tfまで重錘衝撃力は落下高に比例して増加している。また、主梁中央の変位に着目すると、静的実験では、中央変位が110mm程度になった時点で引張側鋼材が破断したが、衝撃実験ではさらに大きな変位量で破断しているように思われる。

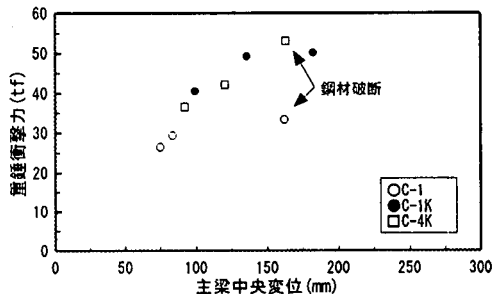


図-9 重錘衝撃力と主梁中央変位の関係

(4) 重錘位置エネルギーと主梁中央変位の関係

各実験の重錘の位置エネルギーと主梁中央変位の関係を図-10に示す。設計荷重相当の重錘衝撃力が発生すると思われる実験位置エネルギー $0.25\text{tf}\cdot\text{m}$ を基準とすると¹⁾、C-1は $2.25\text{tf}\cdot\text{m}$ (設計条件の9倍)、C-4Kは $3.0\text{tf}\cdot\text{m}$ (設計条件の12倍)、C-1Kは $3.5\text{tf}\cdot\text{m}$ (設計条件の14倍) 程度の重錘位置エネルギーまで主梁の鋼材

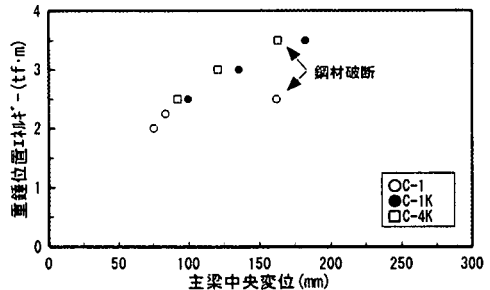


図-10 重錘位置エネルギーと主梁中央変位の関係

が破断せずに応答した。また、C-1供試体の $2.25\text{tf}\cdot\text{m}$ を基準とするとC-1KはC-1の1.6倍、C-4Kは1.3倍の位置エネルギーに抵抗できる結果となった。

(5) ひび割れ発生状況

・主梁中央部

C-1供試体の落下高2.5mにおける実験後の主梁中央部ひび割れ状況を写真-1に示す。主梁中央部には荷点(写真右側の主梁側面に加速度計設置痕のある断面)を中心として曲げひび割れが発生している。また荷点より擁壁側の圧縮側コンクリートが圧壊により層状に剥離している。破壊形態は荷点の擁壁側からのせん断破壊である。

C-1K供試体の落下高3.5mにおけるひび割れ状況を写真-2に示す。主梁中央部には荷点より放射状に曲げひび割れが発生しており、また圧縮側コンクリートが圧壊しているが引張側の鋼材は破断していない。

C-4K供試体の落下高3.5mにおけるひび割れ状況を写真-3に示す。主梁中央部のひび割れは、C-1Kに比較し中央部に集中して発生しており、圧縮側コンクリートも大きく圧壊している。また、PC鋼材2本と引張側鉄筋4本全てが破断した。

・主梁と擁壁の接合部

C-1K供試体の落下高3.5mにおける実験後の主梁と擁壁の接合部の状況を写真-4に示す。過去の実験では¹⁾、擁壁パラペット部が付け根より曲げ破壊したため今回の供試体はパラペット部を厚くし補強している。このためパラペット部には損傷が見られなかったが水平アンカー1本が破断した。

C-4K供試体の落下高3.5mにおけるひび割れ状況を写真-5に示す。主梁上部のコンクリート打ち継ぎ面より擁壁に向かって斜めひび割れが発生し、この部分の鉄筋が引き延ばされ主梁が下方に移動している。また接合部下部のコンクリートが圧壊により剥離している。

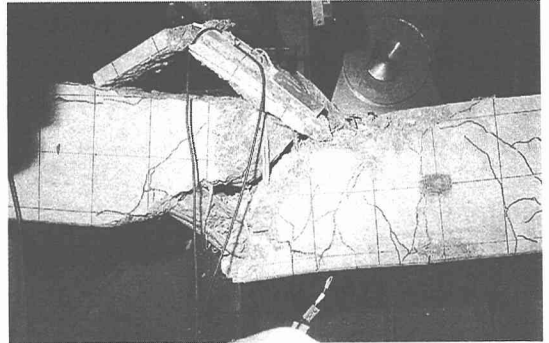


写真-1 主梁中央部 (C-1, H=2.5m)

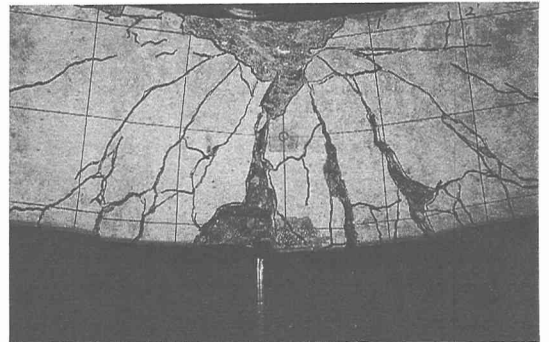


写真-2 主梁中央部 (C-1K, H=3.5m)

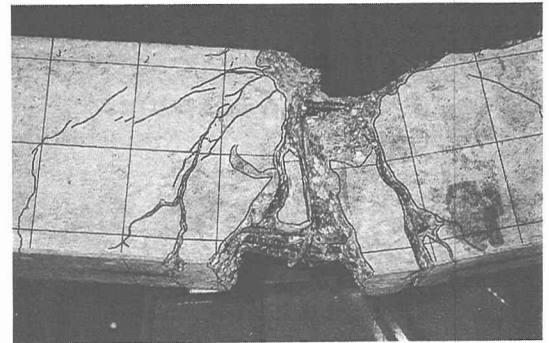


写真-3 主梁中央部 (C-4K, H=3.5m)

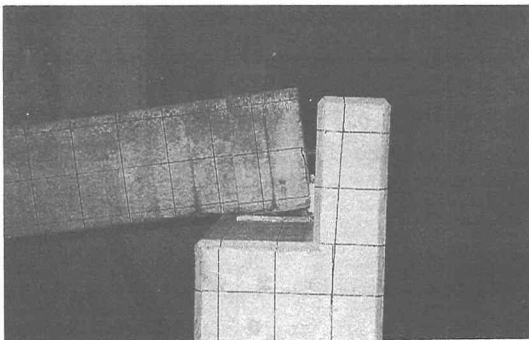


写真-4 主梁と擁壁の接合部 (C-1K, H=3.5m)

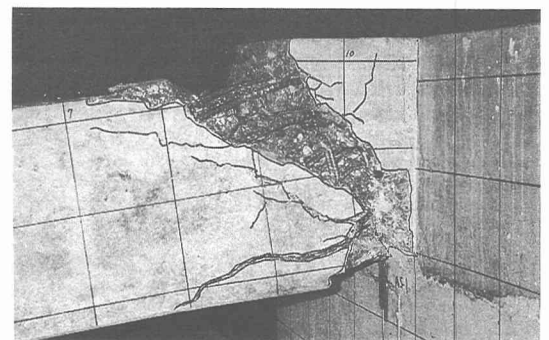


写真-5 主梁と擁壁の接合部 (C-4K, H=3.5m)

・主梁と柱の接合部

C-1K供試体の落下高3.5mにおける実験後の主梁と柱の接合部の状況を写真-6に示す。主梁上部には負の曲げモーメントによるひび割れが発生している。接合部は、主梁の変形により、柱部のPC鋼材が引き延ばされ、接合部が25mm開口し柱上部の擁壁側コンクリートが圧壊している。過去に行ったC-1Kの繰り返し載荷実験では、落下高1.5mまでは主梁と柱の接合部に実験後の開口は見られなかった。また、C-1およびC-4Kについても単発載荷実験時の載荷荷重が大きいためかC-1Kと同様な性状を示した。

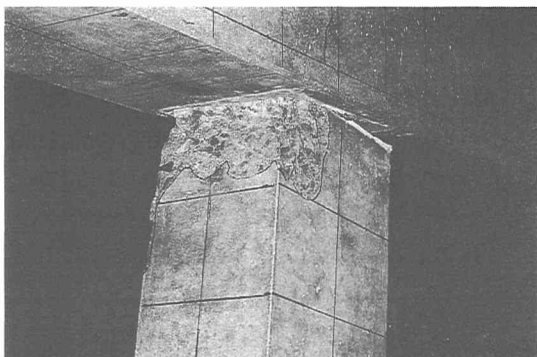


写真-6 主梁と柱の接合部 (C-1K, H=3.5m)

・柱部材のひび割れ状況

C-1供試体の落下高2.5mにおける実験後の柱部材のひび割れ状況を写真-7に示す。柱部材には、曲げによるひび割れが発生している。他の供試体については、静的載荷実験と同様に、柱の両接合部にひび割れが発生するか、あるいは柱上部の擁壁側コンクリートが比較的初期の段階で圧壊しヒンジ化した場合には、ひび割れはあまり発生しなかった。

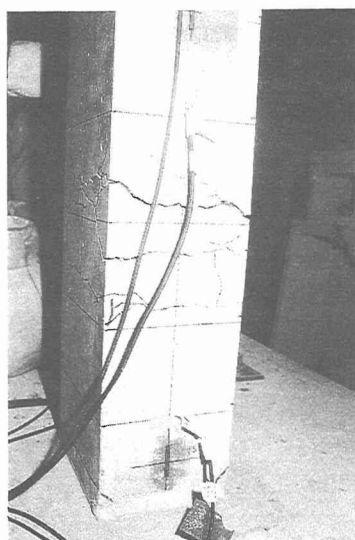


写真-7 柱の状況 (C-1, H=2.5m)

5. まとめ

逆L形式のC-1供試体を基本構造とし、C-1供試体の主梁の鉄筋比を増加し擁壁パラペットを補強したC-1K供試体および主梁と擁壁の接合部と柱下部のヒンジ部を剛接したC-4Kの構造形式および鉄筋量の異なる供試体に対して単発衝撃載荷実験を行い、耐衝撃挙動の違いについて検討を行った。その結果以下のことが明らかとなった。

①衝撃載荷実験では、静的載荷実験での最大荷重よりも大きな重錘衝撃力まで抵抗できる。

②重錘を主梁スパン中央に落下させた実験においては、C-1供試

体に対して、主梁の鉄筋量を増加したC-1Kやヒンジ部を剛接したC-4Kの方が重錘の位置エネルギーでそれぞれ1.6倍、1.3倍の落石に抵抗できる結果となった。これは、C-1Kでは、鉄筋量を増加したことによってひび割れ発生後のエネルギー吸収量が大きくなるためと、C-4Kについては、主梁中央部および主梁と擁壁の接合部の2カ所においてエネルギー吸収するためと思われる。

③C-1K、C-4K供試体は、曲げ破壊を示したがC-1供試体は、主梁のせん断によって破壊した。

今回の実験では、荷重は主梁スパン中央に鉛直載荷して行ったが、今後は載荷位置の影響や載荷方向（斜め載荷）の影響について調査する必要がある。

尚、この実験は土木研究所と社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会との共同研究の一環として行われたものである。

参考文献

1)佐藤弘史、今野久志、長尾彰洋：ロックシェッドの接合部に関する衝撃載荷実験、土木学会第50回年次学術講演会、平成7年9月