大型 RC 梁の重錘落下衝撃挙動における重錘質量の影響に関する実験的検討

Experimental study of falling-weight effects on impact response behavior of prototype RC girders

寒地土木研究所	〇正 員	今野	久志(Hisashi Konno)
寒地土木研究所	正 員	岡田	慎哉 (Shin-ya Okada)
三井住友建設(株)	フェロー	三上	浩 (Hiroshi Mikami)
室蘭工業大学	フェロー	岸	徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

近年、様々な構造物の設計が許容応力度設計法から性能 照査型設計法へ移行してきており、落石防護施設等の設計 においても各性能規定に対する断面設計を可能とする性能 照査型の耐衝撃設計法の確立が望まれている。しかしなが ら、構造物の主要な構成要素である梁部材でさえも、十分 に合理的な耐衝撃設計法が確立されていないのが現状であ る 1)。このことから、筆者らは構造物の性能照査型耐衝撃 設計法を確立するための基礎となる研究として、RC 部材 の性能照査型耐衝撃設計法に関する研究を進めてきている。 この中で、筆者らが過去に実施した断面寸法、主鉄筋比、 純スパン長を変化させた 36 体の小型 RC 梁の単一衝撃荷 重載荷実験結果を統一的に整理している。この結果、入力 エネルギーと残留変位は線形関係にあり、高い相関が認め られ、その直線勾配は静的曲げ耐力の逆数と高い相関関係 にあることが明らかになっている。これらの関係を基に、 曲げ破壊が卓越する RC 梁に限定して実験室レベルでの多 様な RC 梁の比較的広範囲な入力エネルギーに対応可能な 性能照査型耐衝撃設計法の確立に資する設計式を提案して いる²⁾。さらに、大型 RC 梁まで適用可能な設計式を提案 することを目的として、過去に実施した静的曲げ耐力が異 なる2種類の大型RC梁に対する衝撃荷重載荷実験結果を 数値解析によりシミュレートし、解析結果の妥当性を検証 した上で、数値解析によるパラメータスタディを実施して いる。数値解析では、純スパン長が8mで静的曲げ耐力が 230kN から 1,300kN 程度までの 9 断面の大型 RC 梁と1 断面の小型 RC 梁に対して、入力エネルギーや質量比(重 錘質量/RC 梁の支点間質量)をパラメータとする全 120 ケースの数値解析を実施し、残留変位に着目して統一的な 整理を行っている³⁾。その結果より、静的曲げ耐力を Pu (kN)、質量比に関する残留変位の補正係数を β、入力エネ

ルギーを E (kN·m)、残留変位を δ (m)として、以下の設 計式を提案している。

$$Pu = 0.42 \cdot \beta E \neq \delta \tag{1}$$

また、質量比に関する残留変位の補正係数βは以下のよう に示される。

$$\beta = 0.288 \ln (W/B) + 0.9605$$
(2)

ここで、W/B:質量比

W:重錘質量(kg)

B: RC 梁の支点間質量(kg)

上記(2)式は、質量比が 1.25 の場合の残留変位を 1.0 と したときの各解析結果の相対残留変位と質量比の関係より 求めた近似曲線であり、1)同一の入力エネルギーに対して は質量比が大きい方が残留変位が大きいこと、2)質量比の 小さい領域ほど残留変位に対する影響が大きく、質量比が 1.0 以上では影響が非常に小さいこと、が明らかとなって いる⁴⁾。

そこで本研究では、大型 RC 梁の重錘落下衝撃挙動,特 に残留変位に及ぼす重錘質量の影響を検討するために、上 記数値解析において質量比の影響を検討した大型 RC 梁と 同一断面寸法の試験体を製作し、重錘質量を変化させた重 錘落下衝撃実験を実施したのでその結果について報告する。

2. 大型 RC 梁の重錘落下衝撃実験概要

2.1 試験体概要

図-1には、重錘落下衝撃実験に使用した大型 RC 梁の 形状寸法および配筋状況を示している。断面は梁幅 1m、 梁高 1m の矩形断面であり、梁長は 9m、純スパン長は 8 m である。引張側の軸方向鉄筋として D25 を 7 本配置し (主鉄筋比 0.42%)、圧縮側の軸方向鉄筋は引張側鉄筋比 の 50%を目安に D25 を 4 本配置している。また、コンク リートのかぶりは 150mm としている。帯鉄筋の配置間隔





写真-1 重錘落下衝撃実験状況(W5H4)

は、梁の有効高さの1/2以下となるようにすることとし、 D13 を 250mm 間隔で配置している。なお、軸方向鉄筋の 定着は、定着長を節約するために梁両端面に厚さ 12mm の 鉄板を配置して溶接定着している。実験時のコンクリート の圧縮強度は f'c=29.2MPa であり、軸方向鉄筋(D25) および帯鉄筋(D13)の降伏点および引張強さはそれぞれ 382MPa、578MPa および 401MPa、558MPa である。コ ンクリート標準示方書に基づいて算定した大型 RC 梁の静 的曲げ耐力は Pusc=613kN、静的せん断耐力は Vusc = 2,002kN、せん断余裕度 α (=Vusc/Pusc) は、 α =3.27 >1.0 であり、設計的には静載荷時に曲げ破壊型で終局に 至る断面設計となっている。

2.2 実験方法および実験ケース

写真-1には、重錘落下衝撃実験の状況を示している。 本実験では、重錘をトラッククレーンにより所定の高さま で吊り上げ、着脱装置を用いて大型 RC 梁のスパン中央部 に緩衝材を敷設しない状態で直接自由落下させることによ り行っている。また、実験は1試験体に対して一度だけ重 錘を衝突させる単一載荷実験としている。また、大型 RC 梁は支点反力測定用ロードセル付きの支点治具上に設置し、 かつ重錘落下衝突時における梁端部の跳ね上がりを防止す るための鋼製治具を用いてピン支持に近い状態で固定して いる。

表-1には、実験ケースの一覧を示している。実験ケー ス名は、Wの後ろに重錘質量(t)、Hの後ろに重錘の落下 高さ(m)を表示している。さらに表中には重錘質量 W(t)、 支点間の梁質量 B(t)、質量比 W/B、重錘の落下高さ H(m)、 入力エネルギーE(kJ)を示している。本実験では、同一の 入力エネルギーにおける質量比の違いによる耐衝撃挙動へ の影響を検討する目的から、重錘質量をW=2、5、10tの3 種類(質量比はそれぞれ W/B=0.1、0.25、0.5)とし、 落下高さを変化させて入力エネルギーを E=196kJ に統一 した3ケースと、入力エネルギーを上記の1/2である E= 98kJ、重錘質量 W=2t および 10t(質量比 0.1 および 0.5) の場合についての2ケース、合計5ケースの重錘落下衝撃 実験を実施している。実験に使用した重錘を写真-2に示 す。W=2t および 5t の重錘は、直径1m、高さ 97cm、底 部 17.5cm が半径 80cm の球状である同一形状寸法のもの であり、内部に充填した鋼塊およびコンクリートの体積比







(a) 2t 重錘(b) 5t 重錘(c) 10t 重錘写真-2実験に使用した鋼製重錘

表-1 実験ケース一覧

実験 ケース	重錘質量	梁質量	質量比	落下高	入力エネルギー
	W(t)	B(t)	$\mathbf{W} \ / \ \mathbf{B}$	H (m)	E (kJ)
W2H10	2		0.1	10	
W5H4	5		0.25	4	196
W10H2	10	20	0.5	2	
W2H5	2		0.1	5	08
W10H1	10		0.5	1	20

率を調整して所定の質量としている。W=10tの重錘につい ては、直径 1.25m、高さ 95cm、底部 30cm が半径 1mの 球状となっている。

本実験における測定項目は、重錘衝撃力 P、合支点反力 R(以後、支点反力)、および載荷点変位δの各応答波形で ある。これらの測定において、重錘衝撃力に関しては重錘 に設置したひずみゲージ型加速度計(応答周波数 1kHz 以 上、容量 1,000G) から得られる負の加速度に重錘質量を 乗じて評価している。また、支点反力は支点治具に取り付 けた起歪柱型衝撃荷重測定用ロードセル(応答周波数 1kHz 以上、容量1,500kN)を用いている。変位の測定には、非接 触式レーザ式変位計(応答周波数 915Hz、計測範囲 200m m)を用いている。各センサーからの出力波形は、加速度 計およびロードセルの場合には共にひずみゲージタイプで あることより直流増幅器を、またレーザ式変位計の場合に は専用のアンプユニットを介して増幅した後、サンプリン グタイム0.1msでデジタルデータレコーダにて一括収録を 行っている。なお、重錘衝撃力波形に関しては、ノイズを 含んだ高周波成分を除去するため、波形収録後に 0.5msの 矩形移動平均法により数値的なフィルター処理を施してい る。

3.実験結果および考察

3.1 応答波形

図-2には、各実験ケースにおける重錘衝撃力、支点反 力、載荷点変位の各応答波形を示している。

重錘衝撃力についてみると、いずれも振幅が大きく継続 時間の短い正弦半波状の第1波と、その後に続く振幅の小 さい高周波成分よりなっている。同一の入力エネルギーに おける実験ケースを比較すると、重錘質量が大きくなる、 つまり質量比が大きくなるに従って第1波のピーク値が大 きくなる傾向が示されている。



平成20年度 土木学会北海道支部 論文報告集

図-3 実験終了後のひび割れ状況

支点反力波形は、重錘衝撃力波形より若干遅れて励起し ており、重錘衝突初期の周期が短く振幅の大きい正弦半波 とその後に続く周期が長く振幅の小さい正弦半波が合成さ れたような波形性状を示している。また、波形の継続時間 は質量比が大きくなるに従って長くなる傾向が示されてい る。支点反力の最大値について比較すると、入力エネルギ ーが大きい場合の方が大きくなる傾向が示されているもの の、同一の入力エネルギーでは質量比の大小によらずほぼ 同程度の値を示している。

載荷点変位については、同一の入力エネルギーにおいて 質量比の増加と共に最大変位と残留変位および周期が増加 する傾向が示されている。つまり、入力エネルギーが同じ 場合、質量の大きい重錘が低い高さから衝突する場合の方 が質量の小さい重錘が高い高さから衝突する場合に比較し て RC 梁の変形が大きくなることを示している。

第65号

3.2 ひび割れ状況

図-3には、実験終了後の各試験体のひび割れ状況を示 している。いずれの試験体も試験体下縁から上縁に向かう 曲げひび割れと重錘衝突点近傍の押し抜け型のひび割れ性 状が確認できる。入力エネルギーが E=196kJ と同一であ る3ケースのひび割れ状況を比較すると、質量比が大きい 場合の方が試験体の変形量が大きくなるためか、下縁から 上縁に向かう曲げひび割れの長さが長くなる傾向が見られ ると共に、重錘衝突点近傍の破壊性状がコンクリートの剥 離を伴うなど著しくなる傾向が示されている。



図-4 最大変位と入力エネルギーの関係

3.3 最大変位および残留変位と入力エネルギーの関係

図-4には、最大変位と入力エネルギーの関係を、図-5には、残留変位と入力エネルギーの関係を示している。

図より、同一の質量比において最大変位および残留変位 は、ともに入力エネルギーの増加に比例してほぼ線形に増 加している。また、同一の入力エネルギーに対しては質量 比の大きい方が最大変位および残留変位ともに大きくなっ ていることが分かる。これらの傾向は過去に実施した大型 RC梁に対する数値解析結果とよく整合している。

3.4 残留変位と質量比の関係

図-6には、入力エネルギーが E=196kJ の 3 ケースに おける残留変位と質量比の関係を示している。図より、残 留変位は質量比の増加と共に対数関数的に増加しているこ とがわかり、同一の入力エネルギーであっても重錘質量が 大きく落下高さの低い場合の方が重錘質量が小さく落下高 さの高い場合よりも残留変位等の応答値が大きくなること を示している。

4. まとめ

大型 RC 梁の重錘落下衝撃挙動,特に残留変位に及ぼす における重錘質量の影響について検討するために、過去に 実施した数値解析において質量比の影響を検討した大型 RC 梁と同一断面寸法の試験体を製作し,入力エネルギー が同一で質量比が 0.1、0.25、0.5 と異なる場合の重錘落下 衝撃実験を実施した。本研究により得られた結論を以下に 要約する。

- 残留変位と入力エネルギーは線形関係にあり、その直 線勾配は質量比が大きいほど大きくなる。
- 2) 入力エネルギーが同一の場合には質量比の増加と共に 残留変位が対数関数的に大きくなり、過去に実施した 数値解析結果とほぼ同様の傾向が得られた。



図-5 残留変位と入力エネルギーの関係



図-6 残留変位と質量比の関係

参考文献

- 1) 土木学会:構造工学シリーズ15 衝撃実験・解析の基礎と応用,2004.3
- 岸 徳光,三上 浩:衝撃荷重載荷時に曲げ破壊が卓 越する RC 梁の性能照査型耐衝撃設計法に関する一提 案,構造工学論文集,Vol.53A,2007.3
- 岸 徳光,今野久志,三上 浩,岡田慎哉:大型 RC 梁の性能照査型耐衝撃設計法に関する一提案,構造工 学論文集, Vol.54A, 2008.3
- 今野久志,三上浩,岡田慎哉,岸徳光:大型RC 梁の重錘落下衝撃挙動における重錘質量の影響に関する解析的検討,平成19年度土木学会北海道支部論文 報告集(第64号),2008.1