

実規模 RC 桁の重錘落下衝撃挙動に関する弾塑性解析の妥当性検討

室蘭工業大学

学 生 員 ○名雪 利典

室蘭工業大学

フェロー 岸 徳光

北海道開発局土木研究所 正 員 今野 久志

室蘭工業大学

学 生 員 BHATTI ABDUL QADIR

1. はじめに

北海道開発局土木研究所では RC 型ロックシェッドの性能照査型設計法の確立に向けた研究の一貫として、実規模 RC 桁を用いた重錘落下衝撃実験を実施している。一方、RC 部材の衝撃挙動解析に関しては、小型部材を対象に各種解析手法の妥当性検討が実施されており、境界条件や減衰定数に留意することによって信頼性の高い解析が可能になっている。しかしながら、実規模 RC 部材に対する解析手法に関しては未だ確立されるに至っていない。本研究では、実規模 RC 桁に関する衝撃応答解析手法を確立することを目的に、実規模 RC 桁に関する重錘落下衝撃実験結果を対象に、プレ解析とポスト解析を実施したので報告する。なおプレ解析は小型 RC 梁に対して確立されている手法に基づいて実施している。なお、本数値解析には、陽解法に基づく非線形動的構造解析用汎用コード LS-DYNA(ver.970) を用いている。

2. 実験概要

図-1 には、本数値解析で対象とした実規模 RC 桁の形状寸法および配筋状況を示している。本 RC 桁は RC 覆道頂版を想定したものであることより、断面形状を $1,000 \times 1,000$ mm の矩形断面、スパン長を $8,000$ mm としている。曲げ破壊型で終局に至るように、主鉄筋には D32 を用い、上下端にそれぞれ 4 本、7 本配筋し、梁両端面で厚さ 12 mm の定着鋼板に溶接定着している。せん断補強筋には D16 を用い、 250 mm ピッチで 2 組ずつ配置している。

本実験では、簡易計算により入力エネルギー $E_{max} = 400$ kJ で終局に至るものと評価されていることより、重錘質量 $M = 2,000$ kg、落下高 $h = 20$ m に設定している。

3. プレ解析の概要

3.1 数値解析モデルおよび解析条件

図-2 にはプレ解析で用いた有限要素モデルを示している。解析対象は、RC 桁の対称性を考慮してスパン方向および梁幅方向にそれぞれ 2 等分した 1/4 モデルとし、面対称を設定している。要素に関して、鉄筋要素には梁要素を、それ以外の要素には全て 8 節点 3 次元固体要素を

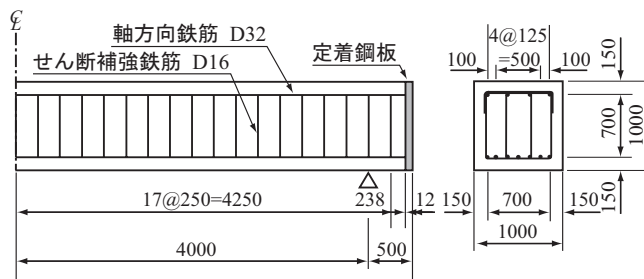


図-1 試験体の形状寸法

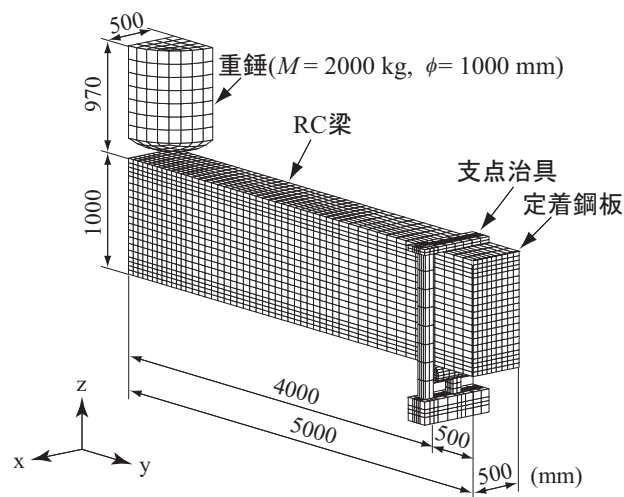


図-2 要素分割モデル

用いている。支点治具の基部は実験時の条件と同様に回転自由となるように境界条件を設定している。要素の積分は 1 点積分を基本としているが、軸方向鉄筋要素に限り解析精度を考慮して 16 点積分としている。

コンクリートと重錘および支点治具の要素間には面と面との接触・剥離を伴う滑りを考慮した接触面を定義している。また、コンクリートと鉄筋要素間は、完全定着を仮定している。重錘による衝撃荷重は、入力エネルギーと等価になるように衝突速度を設定し、RC 梁上に配置した重錘の全要素に付加することにより作用させている。減衰定数に関しては RC 桁の最低次固有振動数に対して 0.5% を設定している。なお、本数値解析では、自重解析後重錘が RC 桁に衝突した時点を 0 ms とし、RC 桁の挙動が定常状態に至るまでの 400 ms 間について実施した。

キーワード：実規模 RC 桁、重錘落下衝撃挙動、プレ解析、ポスト解析、応答波形

連絡先：〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 建設システム工学科 TEL 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227

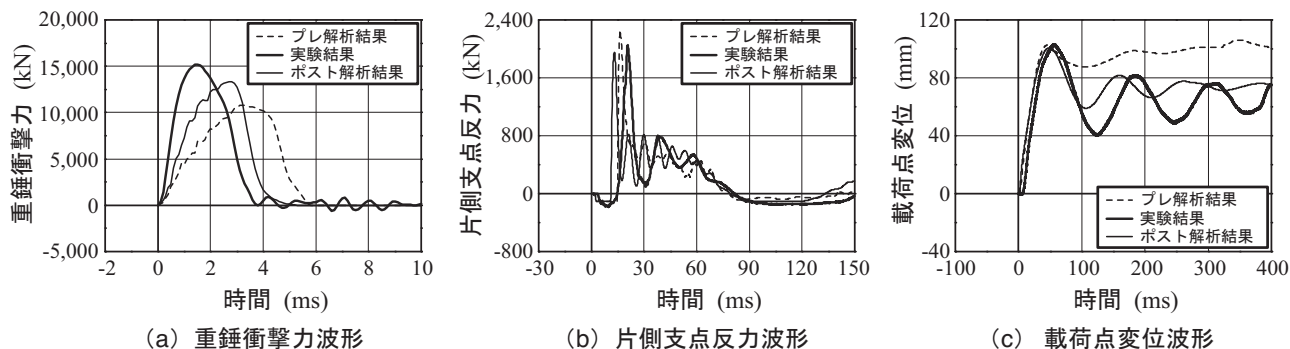


図-4 各応答波形比較図

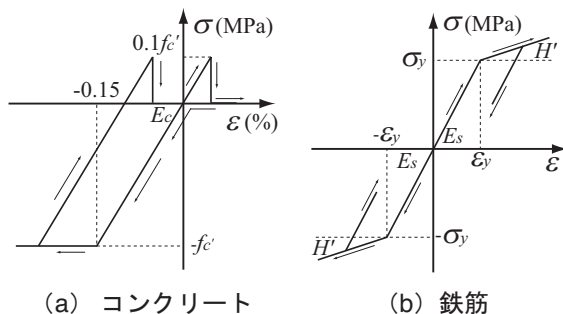


図-3 各材料の応力-ひずみ関係

3.2 材料物性モデル

図-3には本数値解析に採用したコンクリート、鉄筋に関する応力-ひずみ関係を示している。図-3(a)のコンクリートに関しては、断面設計で与えられた弾性係数 $E_c = 25 \text{ GPa}$ 、圧縮強度 $f'_c = 24 \text{ MPa}$ 、ポアソン比 $\nu_c = 0.167$ を設定している。応力-ひずみ関係は、圧縮側に対しては 0.15% ひずみ時に圧縮強度で降伏するものとするバイリニア型に、引張側は応力が引張強度に達した時点で引張応力を伝達しないようにカットオフを仮定している。なお、引張強度は圧縮強度の $1/10$ と仮定している。図-3(b)の鉄筋に関しては、弾性係数 $E_s = 206 \text{ GPa}$ 、降伏強度 $\sigma_y = 380 \text{ MPa}$ 、ポアソン比 $\nu_s = 0.3$ とし、塑性硬化係数 H' を弾性係数の $1/100$ とするバイリニア型の等方硬化則を適用している。なお、降伏の判定には von Mises の降伏条件を採用している。

4. ポスト解析の修正点

材料物性値：強度試験結果に則し、コンクリートに関しては弾性係数 $E_c = 27.6 \text{ GPa}$ 、圧縮強度 $f'_c = 30.4 \text{ MPa}$ 、ポアソン比 $\nu_c = 0.186$ 、鉄筋に関しては降伏強度を D32 で $\sigma_y = 375 \text{ MPa}$ 、D16 で $\sigma_y = 390 \text{ MPa}$ に変更している。

降伏判定：コンクリート要素の降伏の判定を von Mises から Drucker-Prager の降伏条件に変更している。

減衰定数： 0.5% から 2.0% に変更している。

要素分割モデル：支点治具近傍のコンクリート要素に対し、スパン方向に2列分の要素をさらに2分割し、よ

り細かくモデル化した。さらにコンクリート上下かぶりを4分割から3分割にし、また、跳ね上がり防止用治具の接触面の形状は実物を詳細にモデル化するために平面状から半円柱状に変更した。

5. 解析結果と実験結果の比較

図-4(a)には重錘衝撃力波形分布に関する比較を示している。プレ解析結果は実験結果と比較して最大値は 30% 程度小さく、その発生時間も2倍程度遅い。一方、ポスト解析結果においては、最大値および発生時間ともに、より実験結果に近い結果が得られた。これは、降伏条件を von Mises から Drucker-Prager に変更したことにより、上縁コンクリート要素の拘束圧が考慮されたことによるものと考えられる。

図-4(b)には片側支点反力波形に関する比較を示している。最大値発生時間は若干ばらつきが現れるものの、波形性状は3者間で非常によく対応している。

図-4(c)には载荷点変位波形に関する比較を示している。立ち上がりから最大変位までの波動は、実験結果と解析結果間で非常によく対応している。しかしながら、最大変位発生後、プレ解析結果は急激に減衰しておりかつ変位が増大する傾向を示している。これに対して、ポスト解析結果では、急激な減衰を示すものの、振動周期・残留変位ともより実験結果に近い解が得られている。

6. まとめ

本研究では、実規模 RC 桁に関する衝撃応答解析手法を確立することを目的として、重錘落下衝撃実験結果を対象に小型 RC 梁に対して確立されている手法を用いたプレ解析と実験結果に対応させるためのポスト解析を実施した。検討結果、プレ解析により片側支点反力や载荷点変位の最大値は大略予測可能である。一方、重錘衝撃力波形、载荷点変位波形は構成則、減衰定数および要素分割モデルを修正することによって、より実験結果に類似した解を得ることができることが明らかになった。