

I-663

落石覆工衝撃破壊特性の数値解析による検討

大阪市立大学工学部 正員 園田恵一郎
 大阪市立大学工学部 正員 鬼頭宏明
 (株)中道組 正員 ○松浦幹佳

1. まえがき

衝撃および動的問題の破壊解析は既成ソフトに頼られることが多いが多大な計算時間、費用および高性能計算機を必要とする。そこで落石設計に携わる実務者が想定した落石衝突現象を比較的簡単にシュミレートでき、破壊箇所および破壊形式の判定が容易な手法を提案することを目的とし、本研究では門形RCラーメン構造の落石覆工を例にとりあげ、主に衝撃破壊機構について検討を行った。

具体的には、鉄筋コンクリート構造物等の非線形特性を取り扱うのに比較的簡便な剛体バネモデルを用い、軸力、回転およびせん断バネによって部材の変形特性を評価した。曲げ、軸力およびせん断構成関係については土木学会コンクリート標準示方書を基本としてモデル化を行った。時間積分法として衝撃問題に対して適用性の高い中心差分法¹⁾による陽解法を用いた。

2. 構成関係

(1) 軸力と曲げモーメント

本解析では、土木学会コンクリート標準示方書²⁾に従い図1のような応力-ひずみ関係で適用した。また、コンクリートは引張強度を有するものとし、引張状態における軟化特性を考慮したうえで、引張ひずみが $\alpha \epsilon_{ci}$ を越えた場合に引張強度を失い、曲げ引張破壊（クラック）が発生するとした。一方、主鉄筋の応力-ひずみ関係は完全弾塑性モデルを用いて表現した。コンクリートおよび主鉄筋いずれにおいても除荷を考慮している。この応力-ひずみ関係を図2のように分割された断面内の任意位置でのひずみに対して適用する。そして、平面保持の仮定の下にコンクリートと主鉄筋それぞれに積分を行うことにより軸力および曲げモーメントと伸びおよび曲率の関係を決定する。

(2) せん断力

示方書に従いせん断耐力はコンクリートとせん断補強鉄筋を分けて考える。コンクリートせん断破壊基準として、式(1)の斜めひびわれ、式(2)の曲げせん断破壊をせん断耐力として適用する。前者はコンクリートに曲げ引張破壊（クラック）が発生していないときの破壊基準で、後者はコンクリートに曲げ引張破壊が発生した後の破壊基準である。また、コンクリート曲げせん断耐力は軸力の変化にともない変化することを考慮している。以上のコンクリートせん断耐力とせん断補強鉄筋耐力を用いてRC断面のせん断力-ひずみ関係を図3としてせん断補強鉄筋降伏後の除荷を含めて定義する。

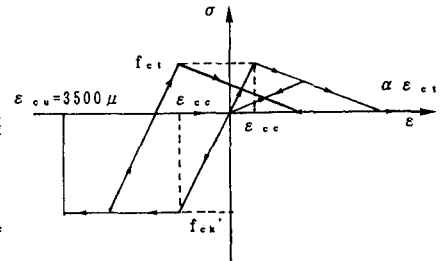


図1 コンクリート応力-ひずみ関係

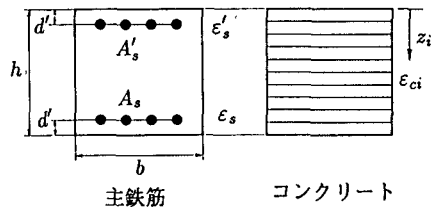


図2 RC断面の分割モデル

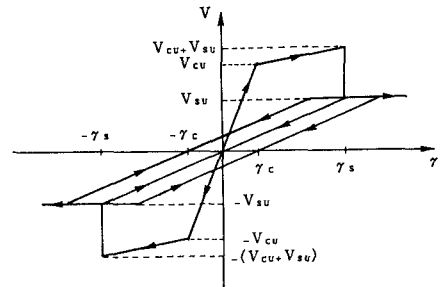


図3 せん断力-ひずみ関係

$$V_{cu} = \tau_m b (h - d') = 0.93 \sqrt{f'_{ck}} b (h - d') \quad \text{斜めひび割れ} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$V_{ocu} = f_{vcd} b (h - d') \quad \text{曲げせん断破壊 (軸力 } N = 0 \text{ 時)} \quad \dots \dots \dots (2)$$

3. 解析結果

落石防護工モデル諸元，材料定数をそれぞれ図4，表1

に示す。本解析では落石ははり部材中央点に 90° の入射角度で衝突すると仮定し落石重量，落下高をパラメータとして計算を行った。また，本解析では数砂厚90cmの場合を想定し，数砂ラメ定数 $\lambda = 1000(\text{tf}/\text{m}^2)$ として落石対策便覧式³⁾に相当する非線形バネモデルを用いた。

(1) 変位応答倍率

図5に中央点変位応答倍率と落石の位置エネルギーの関係を示す。ここで，応答倍率は中央点最大変位を落石による最大衝撃荷重が作用する場合の静的弾性骨組理論値を用いて無次元化したものである。落石の位置エネルギーが小さく落石防護工が弾性状態もしくは破壊の程度小さな状態の場合は応答倍率はほぼ2程度となるが，破壊の程度が大きくなると落石重量に応じた勾配で応答倍率が立上っていることがわかる。

(2) 曲げモーメント応答倍率

図6，図7は落石防護工の中央点，支持部での最大曲げモーメントの応答倍率と落石位置エネルギーの関係を示したものである。ここで，応答倍率は変位同様静的弾性骨組理論を用いて無次元化したものである。応答倍率は中央点より支持部の方が大きな値を示している。また，応答倍率は曲げモーメントで最大3程度になっている。

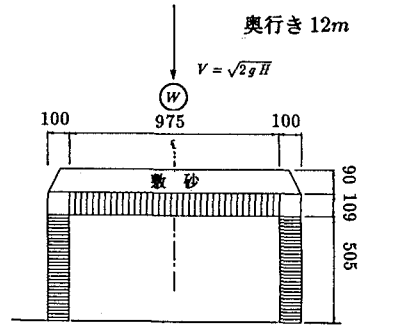


図4 ロックシェッド諸元 単位 (cm)

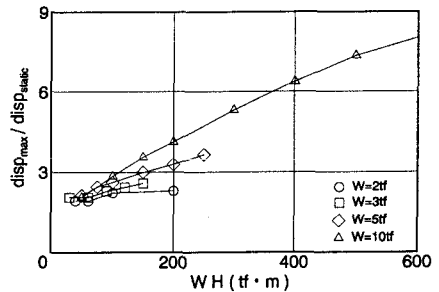


図5 変位応答倍率－エネルギー関係

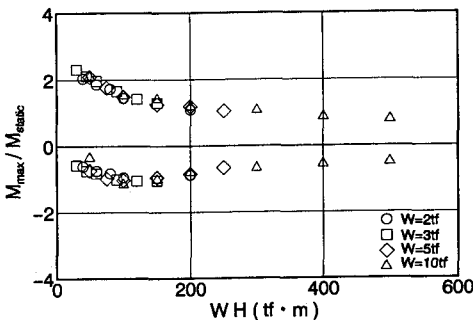


図6 応答倍率－エネルギー関係 (中央点)

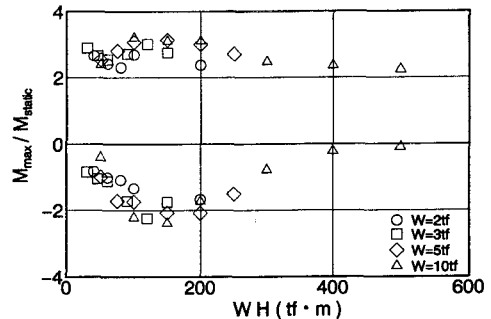


図7 応答倍率－エネルギー関係 (支持部)

4. まとめ

1. はり中央点の最大変位を静的弾性骨組理論を用いて無次元化すると弾性状態もしくはそれに近い状態では応答倍率はほぼ2程度であるが，塑性変形が生じると落石重量に応じた勾配でほぼ線形的に応答倍率が上昇する。
2. 最大曲げモーメント，最大せん断力を静的弾性骨組理論を用いて無次元化すると応答倍率は衝撃荷重作用点であるはり中央点より支持部の方が大きくなる。

参考文献

- 1) 園田恵一郎，上林厚志：土木学会論文集，No. 441/I-18，pp147-156，1992。
- 2) コンクリート標準示方書・設計編（平成3年度制定）：土木学会，1991。
- 3) 岸徳光，中野修，松岡健一，西弘明：野外実験による数砂の緩衝性能，構造工学論文集，Vol. 39A，1993。