

RC製砂防ダム袖部の模型実験に対する衝撃応答解析

防衛大学校 別府万寿博 鈴木真次 石川信隆

山口大学 古川浩平

1 緒言

著者ら¹⁾は、先に鉄筋コンクリート（RC）製砂防ダム袖部の終局限界を定性的に定めるため、衝撃模型実験を行い、終局限界を袖部根元部の上流側と下流側からのひびわれが連結した状態と定義した。

本研究は、上記のRC製砂防ダム袖部の模型実験に対する衝撃挙動を解析的に調べるため、比較的簡単な剛体ばねモデルと断面分割法を併用した衝撃応答解析法を開発し、ひびわれ深さにより終局状態を判定しようとしたものである。

2 基本式

2.1 材料の応力～ひずみ関係

部材を構成するコンクリートの応力～ひずみ関係を図-1のようにモデル化する。引張は圧縮の1/10とし、コンクリートの微小部分の破壊は ϵ_t 以下のひずみが発生した状態を引張りによるひびわれとし、圧縮限界ひずみ ϵ_u 以上のひずみが発生した状態を圧縮によるひびわれ状態とした。また、鉄筋については、図-2のように硬化型の弾塑性とし、限界ひずみ ϵ_y を越えるひずみを鉄筋の破断とした。なお、

ひずみ速度効果²⁾によるコンクリートおよび鉄筋の降伏点等の変化も考慮した。

2.2 曲げモーメント～曲率関係

ここでは、平面保持の仮定が成り立つものと仮定して、曲げモーメント～曲率、ひずみ～中立軸の位置関係を断面分割法により求めた。この方法は、図-3に示すように、与えられた断面を n 個の水平な要素（厚さ $d x$ ）に分割するもので、圧縮縁から中立軸までの距離を x_A 、 i 番目のエレメントの中心までの距離を x とすると、 i 番目のひずみは次式で表される。

$$\epsilon_i = \phi(x_A - x) \quad (1)$$

このひずみ ϵ_i に対応した i 番目の応力 σ_i が、図-1、2で求められる。よって、圧縮側の合力 C と引張側の合力 T とが等しくなる（ $C=T$ ）ように中立軸の位置 x_A および C と T との距離 z を求める。以上より、設定した曲率 ϕ に対する曲げモーメント M が次式で求められる。

$$M = T z = C z \quad (2)$$

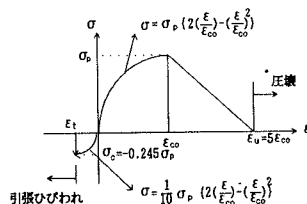


図-1 コンクリートの応力～ひずみ関係

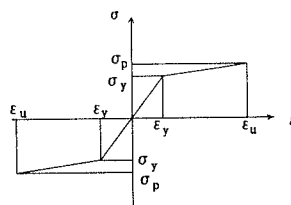


図-2 鉄筋の応力～ひずみ関係

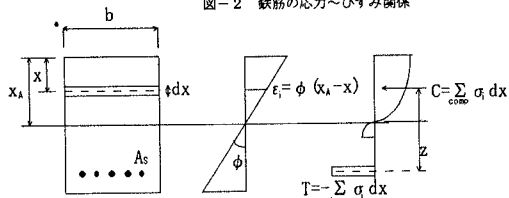


図-3 断面分割法によるM～φ関係

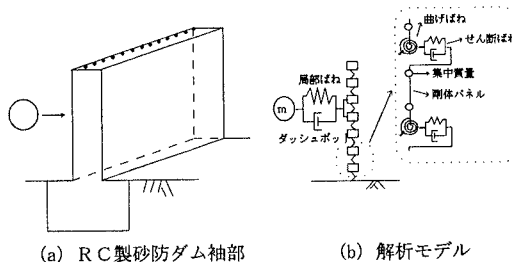
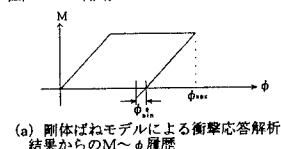
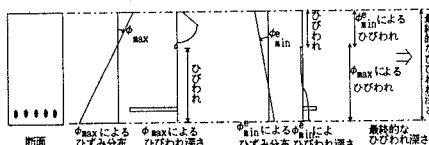


図-4 離散モデル



(a) 剛体ばねモデルによる衝撃応答解析結果からのM～φ履歴

(b) ひずみ分布とひびわれ深さ
図-5 ひびわれ深さの推定法

2. 3 曲げおよびせん断を考慮した剛体ばねモデル

図-4 (a)に示すRC製砂防ダム袖部（ここでは単鉄筋を考慮）を、図-4 (b)に示すように集中質量と任意長の剛体で質量を持たないパネルに分割した。また、衝撃荷重は当初衝突体の初速度を与え、局部ばねとダッシュポットにより算定できるものとした。このモデルに次のような曲げ-せん断の降伏条件を用いた。

$$f(M_i, S_i) = \left(\frac{M_i}{M_p} \right)^2 + \left(\frac{S_i}{S_p} \right) - 1.0 \leq 0 \quad (3)$$

ただし、 M_p : RC部材の降伏モーメント、

$S_p (= \sigma_c \cdot b \cdot d)$: RC部材のせん断耐力、 d : 有効高さ

2. 4 終局限界（ひびわれ深さ）の判定法

まず、断面分割法により断面の曲げモーメント～曲率関係が得られ、これを剛体ばねモデルのばね定数として応答解析を行う。次に、図-5 (a)に示すように、剛体ばねモデルによる解析結果から、曲率の履歴が得られる。本解析では、最大曲率 (ϕ_{max}) と最小曲率（弾性）

(ϕ_{min}^e) を求めることができ、その曲率から式(1)のひずみを算定し、図-1、2の限界ひずみ (ϵ_y, ϵ_u) と比較してひびわれ深さを推定する。もし、ひびわれ深さが全断面に達していれば終局限界と判定するものである。

3 数値計算結果および実験結果との比較

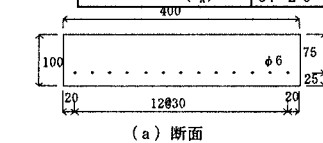
まず、表-1に示す材料定数と図-6 (a)の単鉄筋断面を用いると、断面分割法を用いて図-6 (b)に示した曲げモーメント～曲率関係が得られる。これを用いて衝突速度 $V_0 = 4.93\text{m/sec}$ を与えて剛体ばねモデルにより解析を行うと、図-7 (b)の曲げモーメント～曲率関係が得られ、これよりひびわれ深さを推定すると図-7 (c) のようになる。この結果は図-7 (a)の実験における終局状態（衝突面からのひびわれと揺れ戻しによる裏面からのひびわれの連結した状態）とほぼ一致することが認められる。つまり、衝突速度 4.93m/sec では、当初衝突面側からの大きな引張りひびわれを生じ、揺れ戻しによる裏面側からの引張りひびわれが発生し、最終的にひびわれが根元で連結してしまう状態になると考えられる。

参考文献：1) 鈴木真次、石川信隆、水山高久、石川芳治、古川浩平；RC製砂防ダム袖部の動的終局限界状態について、第49回年次学術講演会講演概要集第1部（B）、pp. 1618～1619、平成6年9月

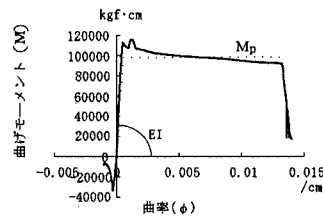
2) 高橋芳彦、大野友則、太田俊昭、日野伸一；高速荷重を受ける鉄筋コンクリートはりの終局限界変形量の推定法、土木学会論文集、第432号／I-16、pp. 99～108、1991.7

表-1 材料定数等

コンクリート	
圧縮強度(σ_c)	360. kgf/cm ²
最大応力時のひずみ(ϵ_{cu})	3900 μ
弾性係数(E_c)	1.94×10^5 kgf/cm ²
ポアソン比(ν)	0.2
鉄筋	
降伏応力(σ_y)	338.5 kgf/cm ²
弾性係数(E_s)	2.1×10^5 kgf/cm ²
引張強度(σ_p)	458.9 kgf/cm ²
伸び率(ϵ_u)	31.25%
解析上のその他の係数	
ひずみ速度($\dot{\epsilon}$)	0.30
局部ばね定数(k_w)	3620 kgf/cm
局部減衰定数(h_w)	1.00
はりの減衰定数(h_R)	0.20

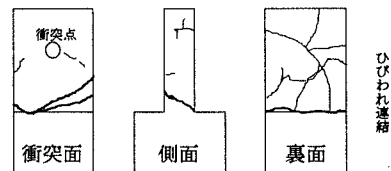


(a) 断面

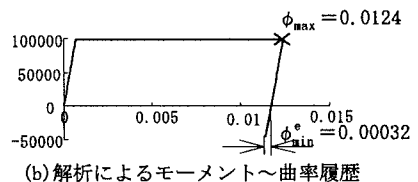


(b) 断面分割法によるM～φ関係とそのモデル化

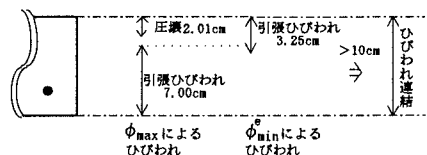
図-6 断面およびモーメント～曲率関係



(a) 実験による片持ちはり根元部の破壊状況



(b) 解析によるモーメント～曲率履歴



(c) 解析による片持ちはり根元部の破壊状況

図-7 単鉄筋衝突速度 $V = 4.93\text{m/sec}$ の解析結果