

P C落石覆工の破壊シミュレーション解析

防衛大学校 正員 ○園田佳巨 正員 佐藤紘志 正員 石川信隆

1. 緒言 現在、落石覆工の安全性に関する検討が様々な観点から行われているが、本研究では、P C落石覆工を対象に、サンドクッションを個別要素により、P C落石覆工を剛体ばねによりモデル化し、落石覆工とサンドクッションとの相互作用を考慮した一体化衝撃応答解析を行うことにより、大規模な落石の衝突を受けたときのP C落石覆工の破壊シミュレーション解析を試みた。

2. P C落石覆工の破壊シミュレーション解析

図-1に示すような実物大のP C落石覆工の破壊シミュレーション解析を行うために、予めはりおよび柱部材のM~φ関係を断面分割法により求めたうえで、P C落石覆工要素として、要素間に軸力ばね K_N と曲げばね K_M を有するような剛体ばねモデルを用いることとした。ここで、軸力ばね K_N については、部材断面の諸元に基づき決定し、曲げばね K_M については、図-2に示すようにモデル化されたM~φ関係を用いることとし、応答曲率が、設定された降伏曲率 ϕ_y を上回ったときには部材の曲げ剛性の修正を行い、さらに終局曲率 ϕ_u を上回るときP C落石覆工が破壊したものとみなした。実際のP C落石覆工は、一般に複数の主桁(通常5本程度)をP C鋼線により横締めして一体化され、荷重を受けない隣接桁も抵抗しうるので、ここでは主桁1本当たりの剛性に対して、次式のような横締めパラメータ β を用いて主桁の剛性を割増することとした。

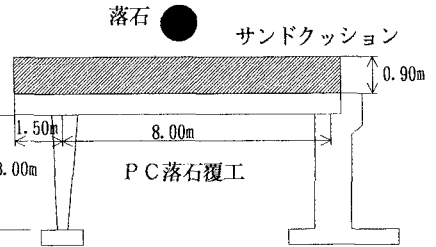
$$K_N = \beta K_{N0}, \quad K_M = \beta K_{M0} \quad (1)$$

ただし、 K_{N0} :主桁1本の軸剛性、

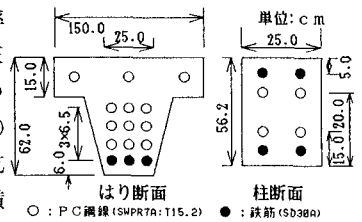
K_{M0} :主桁1本の曲げ剛性

β :横締めパラメータ $\beta \geq 1$ とする。

また、サンドクッションの応答計算には個別要素法を適用した²⁾。以上のモデル化のもとに、個々の要素について水平および鉛直方向の並進と回転の3自由度を考慮し、サンドクッションの応答は通常の個別要素法の手順に従い数値的に解くこととし、P C落石覆工の破壊判定は図-2に示す部材レベルの終局曲率 ϕ_u で行った。



(a) P C落石覆工の構造寸法



(b) P C部材断面

図-1 実物大P C落石覆工

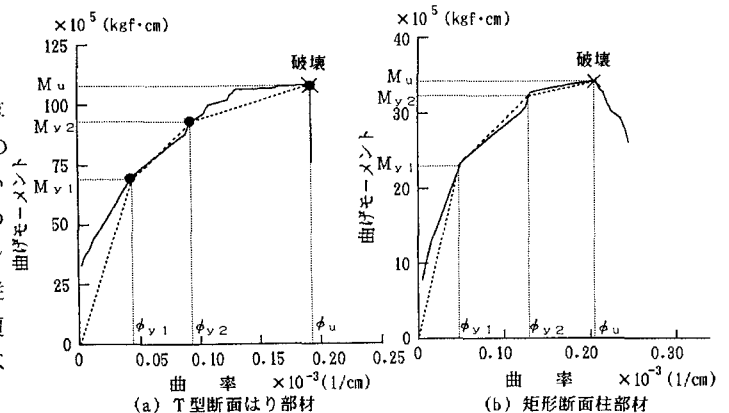


図-2 P C部材のM~φ関係

3. 数値計算例および考察

平成3年8月に日本サミコン(株)が実施した、図-1に示すような実物大のP C落石覆工に対する破壊実験¹⁾を対象に破壊シミュレーション解析を行った。本試験体は、現実にはスノーシェッド程度の断面を有するもので、設計荷重は落石重量 $W = 1.0 \text{ t}$ 、落下高さ $H = 5.0 \text{ m}$ となっている。

(1) P Cはりおよび柱部材のM~φ関係 まず、図-1(b)に示したP Cはりおよび柱部材断面についてM~φ関係を求めると図-2(a), (b)が得られる。これを、図-2の点線のようにモデル化を行った。

(2)使用レベルの落石に対する変位応答

次に、本法の妥当性を検証するために、設計条件内の落石 ($W=1.0 \text{ t f}$, $H=5.0 \text{ m}$) に対して応答解析を行い、計算結果と実験結果との比較を行った。解析モデルは図-3に示すとおりである。図-4は、落石の落下位置の主桁の応答変位について、計算値と実験結果との比較を行ったもので、これより、横締め効果として $\beta=3.0$ 程度を考慮すれば、応答変位は概ね実験値と一致することが確認された。

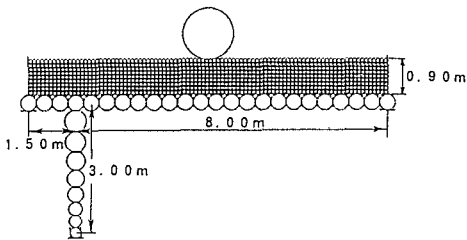


図-3 解析モデル

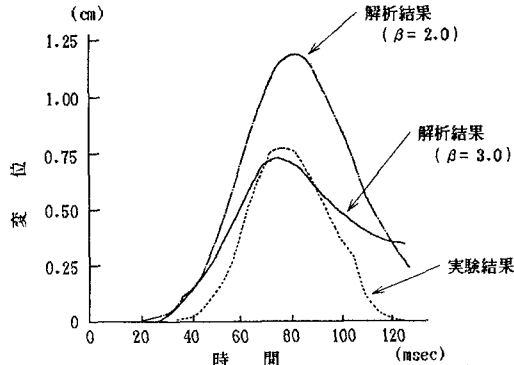


図-4 使用レベルの落石に対する変位応答
($W=1.0 \text{ t f}$, $H=5.0 \text{ m}$)

(3)大規模な落石に対する破壊シミュレーション

ここでは、設計条件を上回る大規模な落石に対する応答計算を行った。図-5は、落石条件として重量 $W=5.0 \text{ t f}$ 、落下高さ $H=20.0 \text{ m}$ のときの P C 落石覆工の破壊シミュレーションを行ったものである。この図より、最終的には、衝突位置直下で P C はり部材が約 8 cm の変形量を示して破壊する様子が認められる。さらに、数種類の落石条件について P C 落石覆工の破壊判定を別途行ったが、 $\beta=3.0$ のときには落石重量 $W=5.0 \text{ t f}$ 、落下高さ $H=15.0 \text{ m}$ まで耐えられる結果が得られた。実際の実験¹⁾においては、繰り返し衝撃を受けた主桁が、落石重量 $W=5.0 \text{ t f}$ 、落下高さ $H=20.0 \text{ m}$ で破壊しており、本解析による判定はやや安全側ではあるが、概略の破壊判定が可能であることが認められた。

4. 結 論

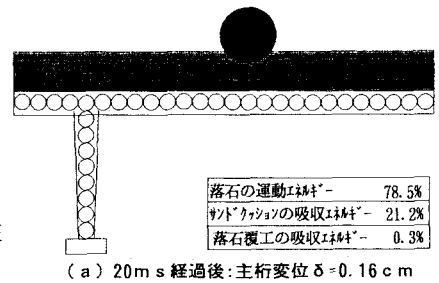
(1)使用レベルの落石に対する主桁の変位応答を、実験結果と計算結果で比較すると、横締めパラメータとして $\beta=3.0$ を与えたときに実験結果と良く一致することが認められた。

(2)大規模な落石に対する破壊シミュレーションを行った結果、 $\beta=3.0$ のときには、落石重量 $W=5.0 \text{ t f}$ 、落下高さ $H=15.0 \text{ m}$ までは破壊せず、 $H=20.0 \text{ m}$ で破壊する結果が得られた。

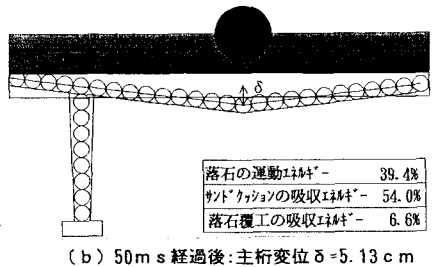
なお、今後、隣接桁の荷重分担効果について、より定量的な評価が可能となれば、実際の P C 落石覆工の破壊判定に本法が適用できるものと思われる。

参考文献

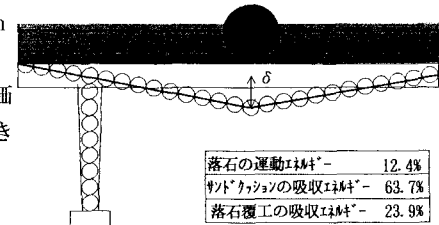
- 1) 松葉美晴、後藤吉晴、佐藤彰、音田契、岡畑博子、井上理恵: 実物大 P C 製シェッドの落石による破壊実験について、第10回土木学会新潟会概要集, pp. 14-25, 1992年11月
- 2) 梶谷浩、増田守世: 個別要素法による落石用クッション材の衝撃特性、構造工学における数値解析法シンポジウム論文第14巻, pp. 287-292, 平成2年7月



(a) 20 ms 経過後: 主桁変位 $\delta=0.16 \text{ cm}$



(b) 50 ms 経過後: 主桁変位 $\delta=5.13 \text{ cm}$



(c) 73 ms 経過後: 主桁変位 $\delta=8.15 \text{ cm}$

図-5 P C 落石覆工の破壊状況

($W=5.0 \text{ t f}$, $H=20.0 \text{ m}$) ●降伏 ×破壊