

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

TK-1-394 改 2

平成 30 年 5 月 7 日  
日本原子力発電（株）

## 鉄筋コンクリート部材の裏面剥離評価方法について

### 1.1 概要

V-3-別添 1-1-1「竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」における「裏面剥離評価」では、裏面剥離限界厚さを算定し、施設の部材厚さとの比較を行っている。なお、評価の結果、裏面剥離の発生が想定される場合には、詳細な衝突解析を実施し、鉄筋に発生するひずみにより評価を行うこととする。

ここでは、鉄筋のひずみによる裏面剥離評価について示す。

### 2.1 裏面剥離評価方法

裏面剥離評価フローを図 2-1 に示す。

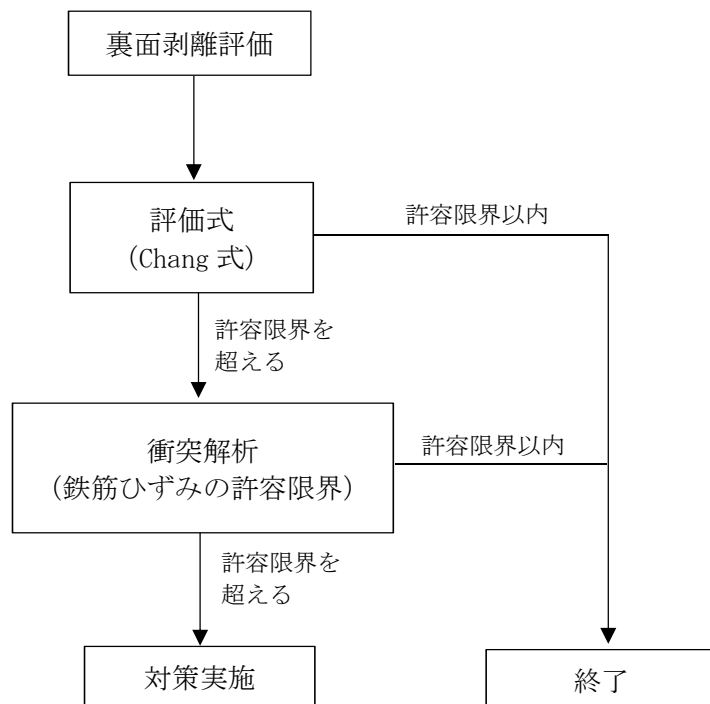


図 2-1 裏面剥離評価フロー

## 2.2 裏面剥離評価における鉄筋ひずみの許容限界

裏面剥離評価式により、裏面剥離の発生が想定される場合には、文献<sup>(注1)</sup>に示す剛飛翔体の衝突試験と解析結果との比較検討より、裏面側鉄筋ひずみが約 $\square$ を下回る場合は裏面剥離が発生しないと考えられることから、裏面剥離評価における鉄筋ひずみの許容限界として $\square$ を設定している。

文献<sup>(注1)</sup>の衝突速度による破壊モードの変化について、図2-2に示す。裏面剥離は、飛翔体の衝撃によりコンクリート裏面側でシェアコーン形状に大きなコンクリート塊が剥がれるが飛翔体は貫通しないモードである。図2-2より、衝突速度50m/sの場合の破壊モードは裏面剥離となり、衝突速度40m/sの場合では裏面剥離には至らないと推定される。

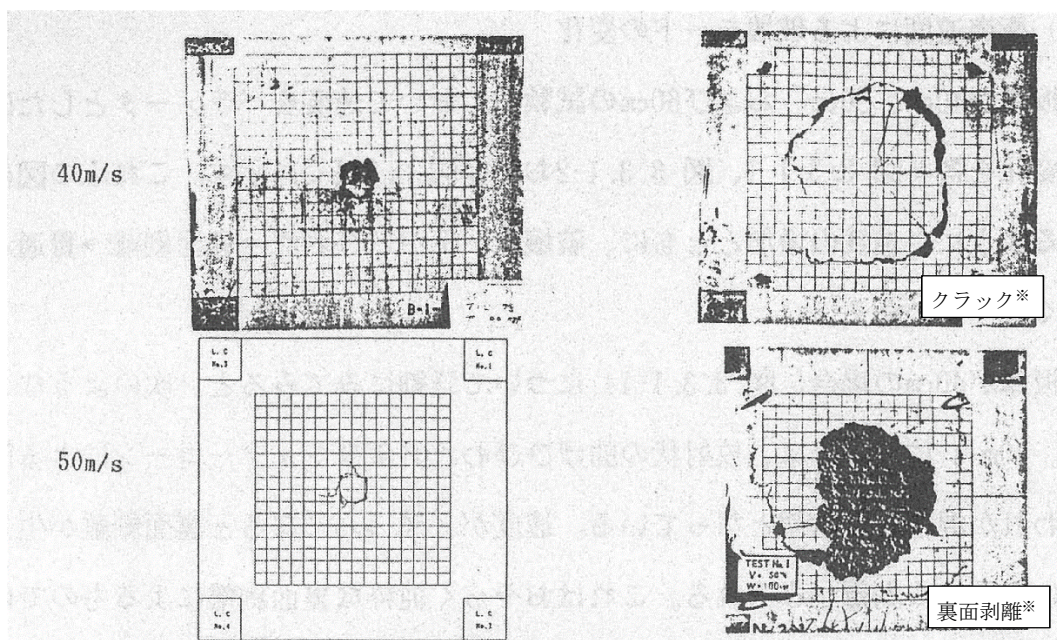


図2-2 剛飛翔体の衝突速度40m/s及び50m/sによる破壊モードの変化  
(RC板厚：40cmの場合) (※日本原子力発電(株)にて一部加筆)

文献<sup>(注1)</sup>では、衝突実験で行った実験ケースのうち、同一板厚で破壊モードの異なった実験に対して解析検討を行っている。表2-1に実験結果のまとめを示す。

表2-1 実験結果のまとめ(破壊モード)

|        | 飛来物     |         | 床版     | 破壊モード |
|--------|---------|---------|--------|-------|
|        | 重量(kgf) | 速度(m/s) | 厚さ(cm) |       |
| CASE-1 | 100     | 40      | 40     | クラック  |
| CASE-2 | 100     | 100     | 40     | 裏面剥離  |
| CASE-3 | 100     | 150     | 40     | 貫通    |

表 2-2 に解析結果のまとめを示す。

また、図 2-3 及び図 2-4 に解析結果の判定の考え方及び解析による衝突部の鉄筋要素のひずみの時刻歴と最下部コンクリート要素の破壊状況図を示す。

解析結果によれば、CASE-1 で鉄筋に発生した最大ひずみは  $1540 \times 10^{-6}$  であり、かつ衝突部以外のコンクリートは残存しているものがある。これより、破壊モードは「クラック」となる。CASE-2 では、最大ひずみは  $7900 \times 10^{-6}$  であり、シェアコーン内の最下層コンクリートが全面にわたり破壊している。これより、破壊モードは「裏面剥離」となる。CASE-3 では、発生した最大ひずみは  $34000 \times 10^{-6}$  であり、面外変形に対する鉄筋の限界ひずみとして CEB-FIP, DIN で定められている最大ひずみ (1%) を用いると破壊モードは「貫通」となる。これより、解析による破壊の推定モードと実験結果は良く一致することが確認されている。

表 2-2 解析結果のまとめ

|        | 床版中央の鉄筋に発生した最大ひずみ ( $\times 10^{-6}$ ) | 最下部コンクリート破壊状態 |
|--------|--|---------------|
| CASE-1 | 1540                                   | 衝突部破壊 (クラック)  |
| CASE-2 | 7900                                   | シェアコーン内全壊     |
| CASE-3 | 34000                                  | 衝突部破壊         |

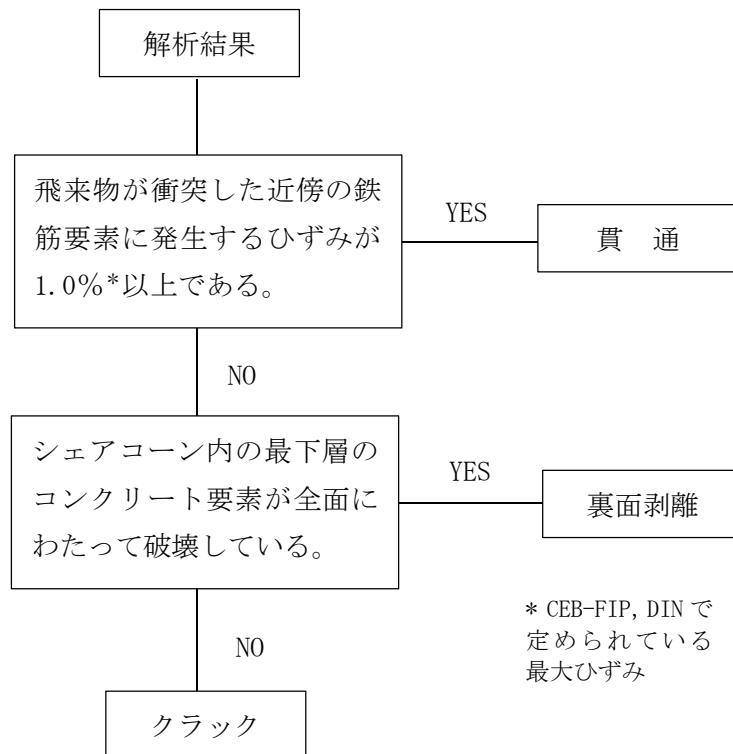


図 2-3 解析結果の判定の考え方

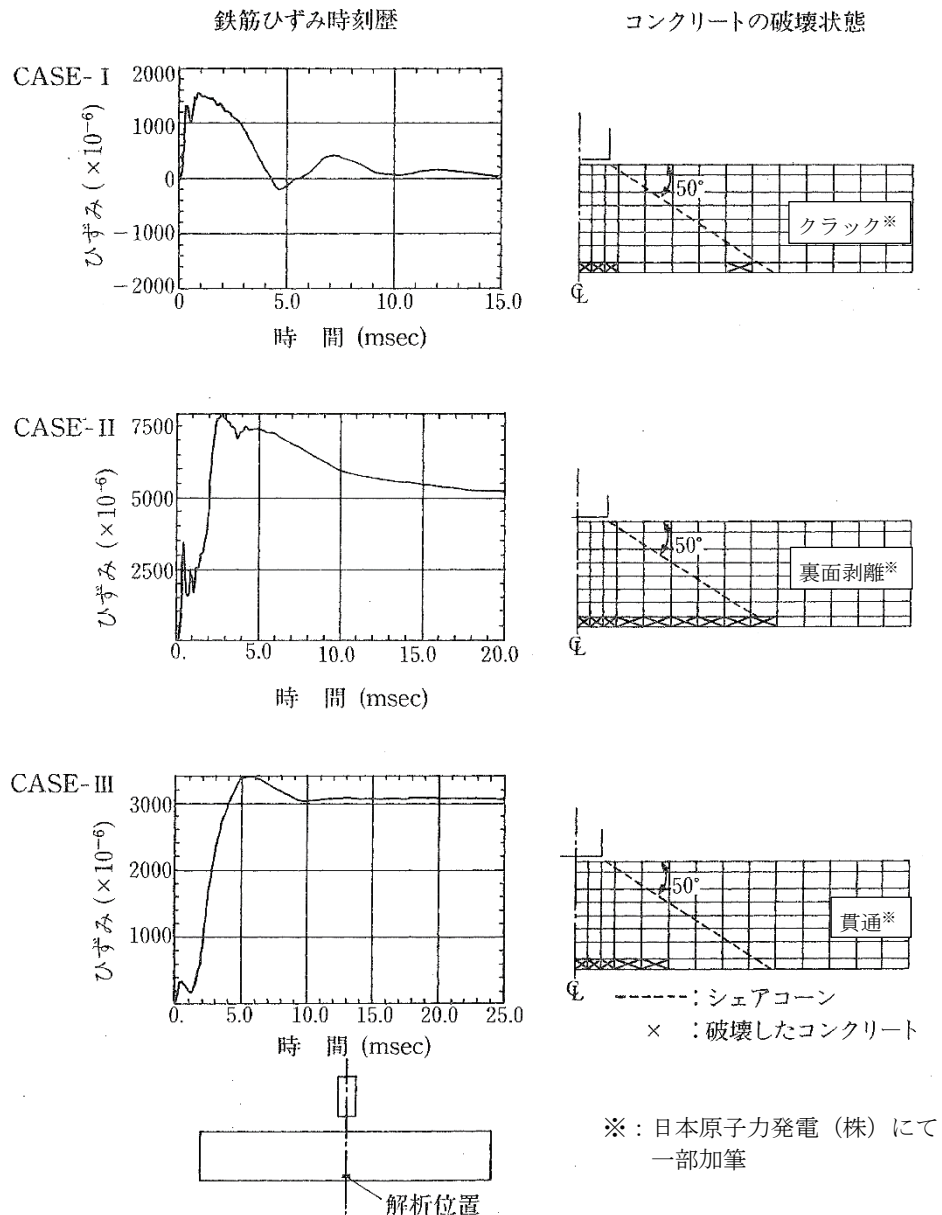


図 2-4 床版中央部下側鉄筋要素の鉄筋ひずみ時刻歴

以上より、解析結果と実験結果の比較によれば、現象を完全にシミュレートすることは難しいが、貫通、裏面剥離などの局所的な破壊モードや衝突部近傍でのひずみの応答に対して本解析手法が適用できることが確認されており、破壊モード等の推定に適用できると考える。

(注 1)：「飛来物の衝突に対するコンクリート構造物の耐衝撃設計手法」平成 3 年 7 月  
財団法人電力中央研究所 著者 伊藤千浩, 大沼博志, 白井孝治

以上

電中研文献値の当社の解析モデルへの適用性について

上述の電力中央研究所の文献においては、実験及び解析の成果を踏まえ、耐衝撃設計法の適用範囲を提案しており、東海第二発電所の解析で予定しているモデルについても、概ね提案の範囲に収まっていることを確認した。

このため、電中研の文献の成果を踏まえたひずみ値を許容限界に適用することについては、問題ないものと判断している。

表 電中研文献における適用と東海第二解析モデルとの比較

| 主要な条件    |      | 文献                           | 東海第二         | 備考   |
|----------|------|------------------------------|--------------|--|
| 適用       |      | 剛飛来物※の衝突による局所的破壊             | 柔飛来物(鋼製材)の衝突 | ※：柔な飛来物の衝突に関しては、安全側の評価となる。                               |
| 飛来物      | 重量   | 70～200kgf                    | 135 kg f     |  |
|          | 径    | 10～30cm                      | 20cm×30 cm   |  |
|          | 衝突速度 | 5～250m/s                     | 51m/s        |  |
|          | 先端形状 | 平坦, 球状, 鋭敏                   | 平坦           |  |
| コンクリート床版 | 配筋   | 格子状, 複鉄筋                     |              |  |
|          | 鉄筋比  | 片側 0.5%程度                    |              |  |
|          | 強度   | 240～420 kg f/cm <sup>2</sup> |              | コンクリートの強度が低い方が、鉄筋による荷重負担が増えるため、鉄筋のひずみ量制限の観点からは保守側と考えられる。 |