

社会インフラ診断への PFM の適用検討

A Study of Application of PFM (Probabilistic Fracture Mechanics) to the Diagnosis of Social Infrastructures

原子燃料工業株式会社	磯部 仁博	Yoshihiro ISOBE	Member
原子燃料工業株式会社	藤吉 宏彰	Hiroaki FUJIYOSHI	
原子燃料工業株式会社	松永 嵩	Takashi MATSUNAGA	Member
原子燃料工業株式会社	小川 良太	Ryota OGAWA	Member
原子燃料工業株式会社	匂坂 充行	Mitsuyuki SAGISAKA	Member
株式会社アトリー	松本 聡司	Satoshi MATSUMOTO	
株式会社アトリー	高坂 徹	Toru KOSAKA	
東京大学	吉村 忍	Shinobu YOSHIMURA	

Special attentions have been increasingly paid for the diagnosis of social infrastructures after the collapse of ceiling of Sasago tunnel of Chuo Expressway. It is reported that the main cause was due to the age-related degradation of chemical anchors. Chemical anchors are also frequently used in nuclear power stations. Here we have been trying to apply PFM (Probabilistic Fracture Mechanics) to the diagnosis of social infrastructures using Dr. Mainte, an integrated simulator to optimize maintenance activities of nuclear power plants based on PFM analysis.

Keywords: Dr. Mainte, maintenance activities, human error, stress check

1. はじめに

著者らは軽水炉の主要機器・配管等を対象として、各種保全戦略（検査頻度、検査精度、抜取検査率、修理／取替の選択、維持規格の適用等）が、①安全性、②信頼性、③経済合理性、④環境性、⑤社会的受容性に及ぼす影響を定量評価し、それらの多角的な視点から保全戦略を総合的に最適化するための PFM(確率論的破壊力学)に基づく軽水炉保全最適化のための統合型シミュレータ Dr. Mainte を開発してきた[1]。

一方で、軽水炉保全作業のさらなる信頼性向上のためには、ヒューマンエラー低減の重要性が指摘されており、ヒューマンエラーの影響とその低減効果を評価してきた[2]。ここでは Dr. Mainte のさらなる活用を目指して社会インフラ診断に適用する例としてケミカルアンカの PFM 解析モデルについて検討した。

2. アプローチの概要

2.1 ケミカルアンカの PFM 解析フローチャート

Dr. Mainte に実装されたケミカルアンカの破損を評価する PFM 解析フローチャートを Fig. 1 に示し、考慮される確率変数の例を Table 1 に示す。確率変数については、今後文献調査、現場検査結果に基づき確率密度関数を評価する計画である。

2.2 ケミカルアンカの PFM 解析結果例

以下では M16 ケミカルアンカを対象に 5 年に 1 度検査した場合の各種破壊確率（①付着強度低下、②コンクリートコーン破壊、③腐食によるアンカ筋径減少に伴う降伏、④80%剥離）、並びに、⑤剥離許容限度を超えた場合の検出確率を Table 1 に示す仮定に基づき PFM 解析で求めた。

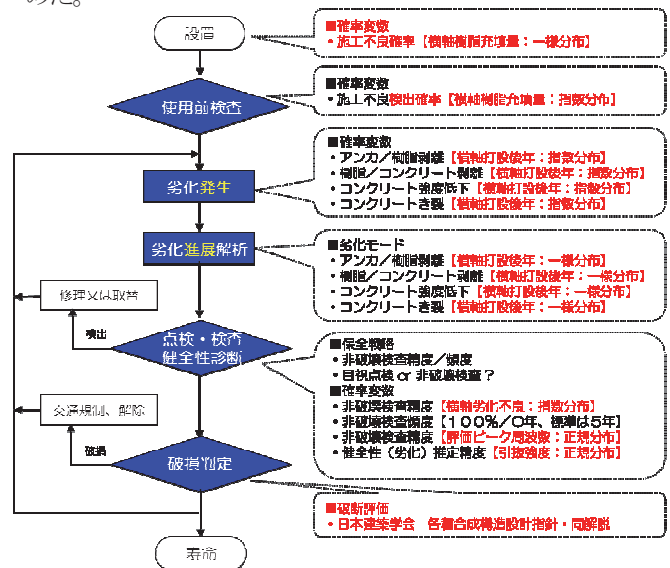


Fig. 1 Flow chart of PFM analysis of chemical anchors among social infrastructures by Dr. Mainte.

Table 1 PFM analysis conditions of chemical anchors.

解析条件	項目	(仮) 設定内容	入力項目名
初期値	ケミカルアンカ	M16 (アンカ筋径 16mm) 穿孔径:18mm, 穿孔深さ:130mm 降伏点:230 N/mm ² 荷重:3000 N、荷重変動:なし	—
	コンクリート (基部)	強度:21 N/mm ²	—
施工時	施工不良	一様分布 (0.1%) 施工不良時剥離程度は1%	施工不良率
初期検査	検査見逃し	(通常検査と同一)	剥離検出率
劣化発生	基部側剥離劣化発生	指数分布:1.666 60年時点で全体の50%に剥離が始まる程度のみ:0.001	基部側剥離劣化発生
	ボルト側剥離劣化発生	指数分布:1.666 60年時点で全体の50%に剥離が始まる程度のみ:0.001	ボルト側剥離劣化発生
劣化進展	基部側剥離劣化進行	2-10%/年 ランダム	基部側剥離劣化進展
	ボルト側剥離劣化進行	2-10%/年 ランダム	ボルト側剥離劣化進展
	コンクリート強度減少	0.01 or 0.02/year	コンクリート強度減少率
	アンカ筋径減少率	0.001 or 0.01/year	アンカ筋径減少率
検査	検査間隔	5年	検査間隔
	剥離検出	指数分布:0.01 剥離が50%であれば80%見つかる程度のみ:3.4	剥離検出率
	検査不良	一様分布:0.01	検査不良率
	検査スキップ	一様分布:0.01	検査スキップ率
	剥離許容限度	20 or 40%	剥離許容限度
補修・取替	取替忘れ	一様分布	補修・取替忘れ率
通報	発生した破損が発覚	破損発生後、直ちに発覚(100%)	破損発見通報率
破損	破損に至る条件	80%剥離で破損	

解析結果を Fig. 2 に示すが、剥離許容限度、コンクリート強度の低下、腐食によるアンカ筋径の減少の組合せを考慮して上記の破壊確率、検出確率の年度展開を推定することが可能になった。

具体的には、Fig. 2(a) と比較して Fig. 2(b) は、腐食に

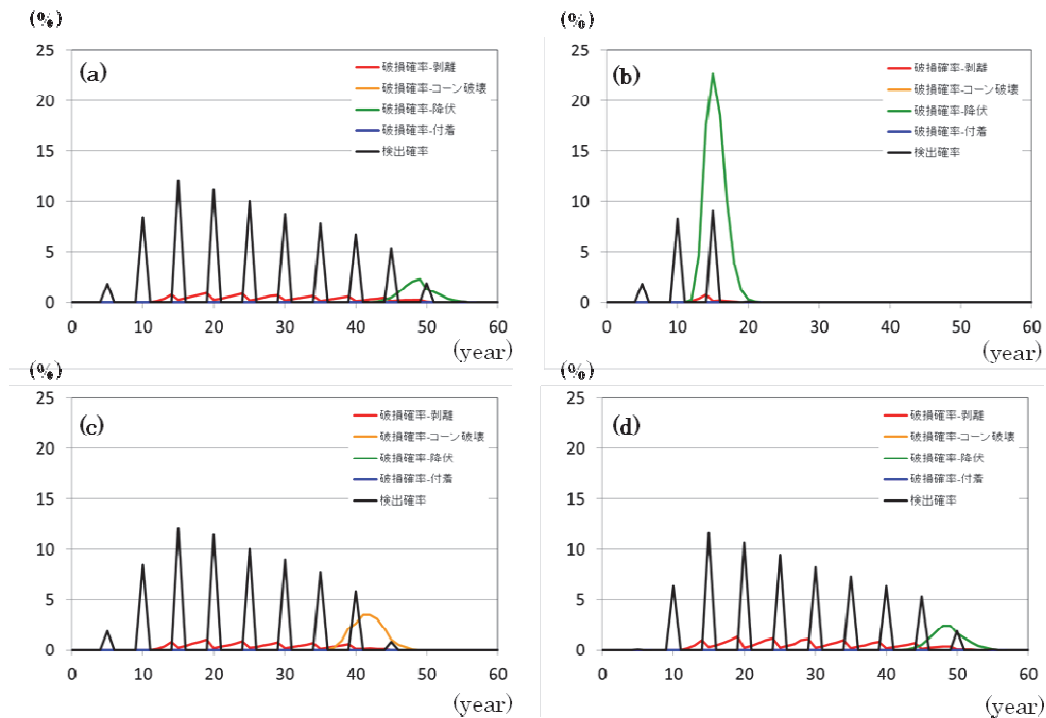


Fig.2 PFM analysis for chemical anchors

Acceptable exfoliation level: (a) 20%, (b) 20%, (c) 20%, (d) 40%

Concrete strength reduction rate: (a) 0.01/year, (b) 0.01/year, (c) 0.02/year, (d) 0.01/year

Anchor diameter reduction rate: (a) 0.001/year, (b) 0.01/year, (c) 0.001/year, (d) 0.001/year

よるアンカ筋径減少に伴う降伏が早期に進むため、降伏に伴う破壊確率が10~20年付近で高い。

また、Fig. 2(a) と比較して Fig. 2(c) は、コンクリート強度劣化が早期に進むため、コンクリートのコーン破壊確率が40年付近で高い。

さらに、Fig. 2(a) と比較して Fig. 2(d) は、剥離許容限度が低いため、剥離許容限度を超えた場合の検出はやや遅れて始まる。

3. まとめ

原子力発電所、高速道路等で多数利用されているあと施工アンカのケミカルアンカを対象にPFMモデルを整備している。その結果、剥離許容限度、コンクリート強度の低下、腐食によるアンカ筋径の減少等を考慮してケミカルアンカの破壊確率、剥離許容限度を超えた場合の非破壊検査による検出確率の年度展開を推定することが可能になった。

参考文献

[1] 吉村忍, 他 “軽水炉保全最適化のための総合型シミュレータ Dr. Mainte の開発,” 日本原子力学会和文論文誌, Vol. 9, No. 2 (2010).

[2] 磯部仁博, 他 “軽水炉保全最適化シミュレーションツール Dr. Mainte を用いたヒューマンエラーの影響とその低減効果の検討 (4),” 日本原子力学会 2016 年春の年会, p3D01, 東北大学 (2016).