



地震システムリスク解析を用いた 浄水場配管の最適投資額の算定

- 馬場 啓輔 (日本上下水道設計(株))
- 大嶽 公康 (")
- 静間 俊郎 (株式会社篠塚研究所)
- 吉川 弘道 (東京都市大学総合研究所)

【 発 表 内 容 】

1. はじめに

- 1.1 研究の背景
- 1.2 対象施設

2. 解析対象モデル及び解析手法の概要

- 2.1 解析対象モデル
- 2.2 地震システムリスク解析
- 2.3 最適投資額の算定方法

3. 解析結果と評価

- 3.1 復旧シミュレーション
- 3.2 最適投資額

4. おわりに

- 4.1 結論と課題

1.1 研究の背景

◆ 説明責任の向上

● 耐震化ニーズの高まり

【最近の主な地震と地震被害】

- + 兵庫県南部地震 (H7.1, 震度7)
断水: 約 1,300,000戸, 復旧: 90日程度
- + 新潟県中越地震 (H16.10, 震度7)
断水: 約 130,000戸, 復旧: 30日程度
- + 能登半島地震 (H19.3, 震度6強)
断水: 約 13,000戸, 復旧: 13日程度

需要の減少・財政状況が逼迫化

耐震化の遅れ

資金を効率的かつ効果的に投資

● 事業実施効果に対する住民理解

住民が理解し易い事業効果の指標

耐震化率 (%)

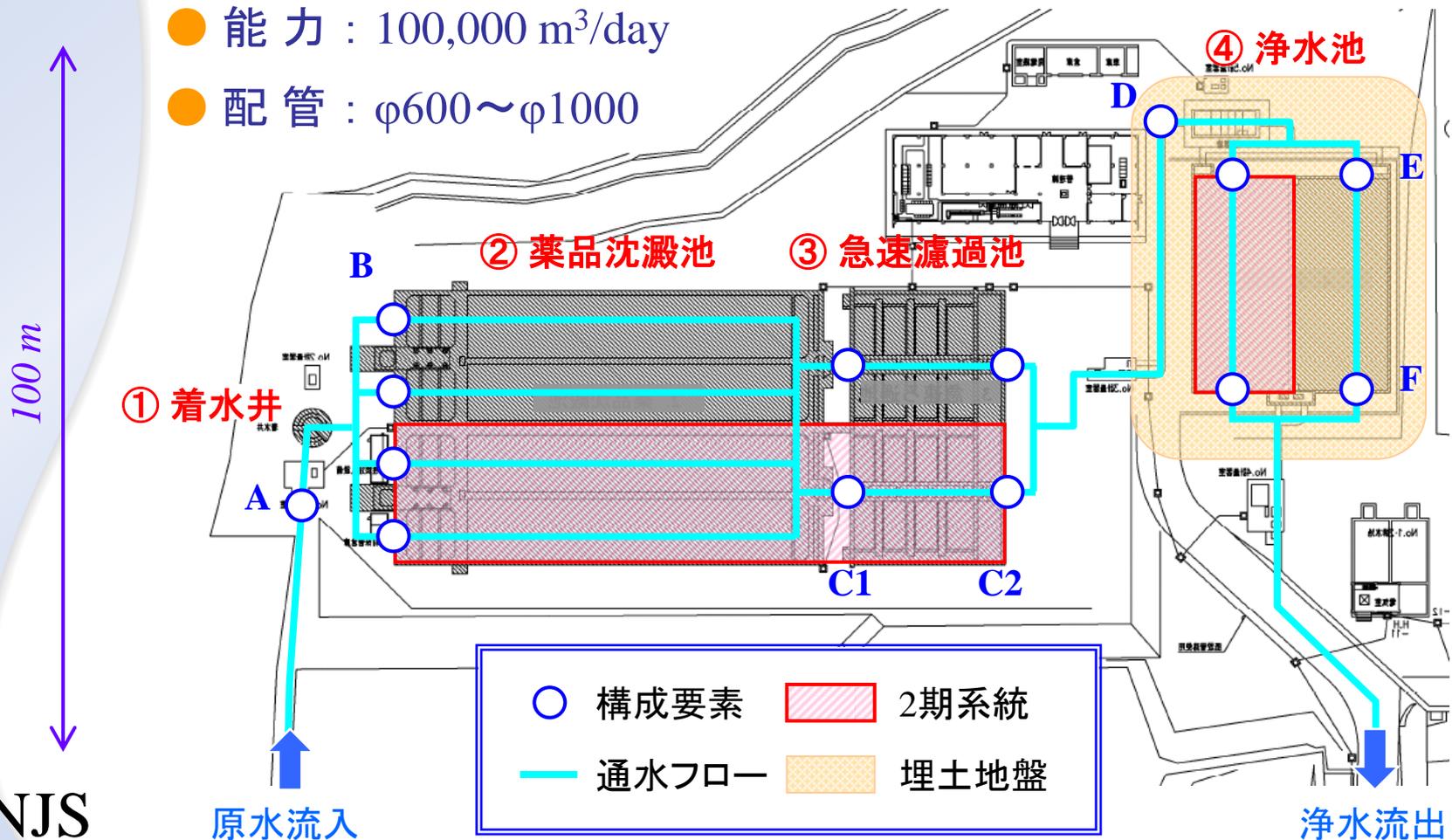
復旧日数 (日)



1.2 対象施設

◆ 浄水場（凝集沈澱＋急速ろ過法式）

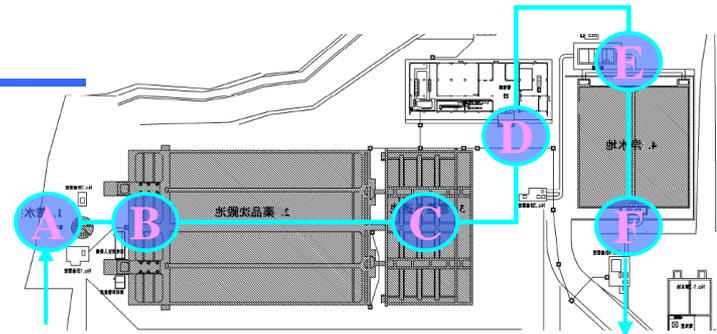
- 位置：神奈川県内
- 能力：100,000 m³/day
- 配管：φ600～φ1000



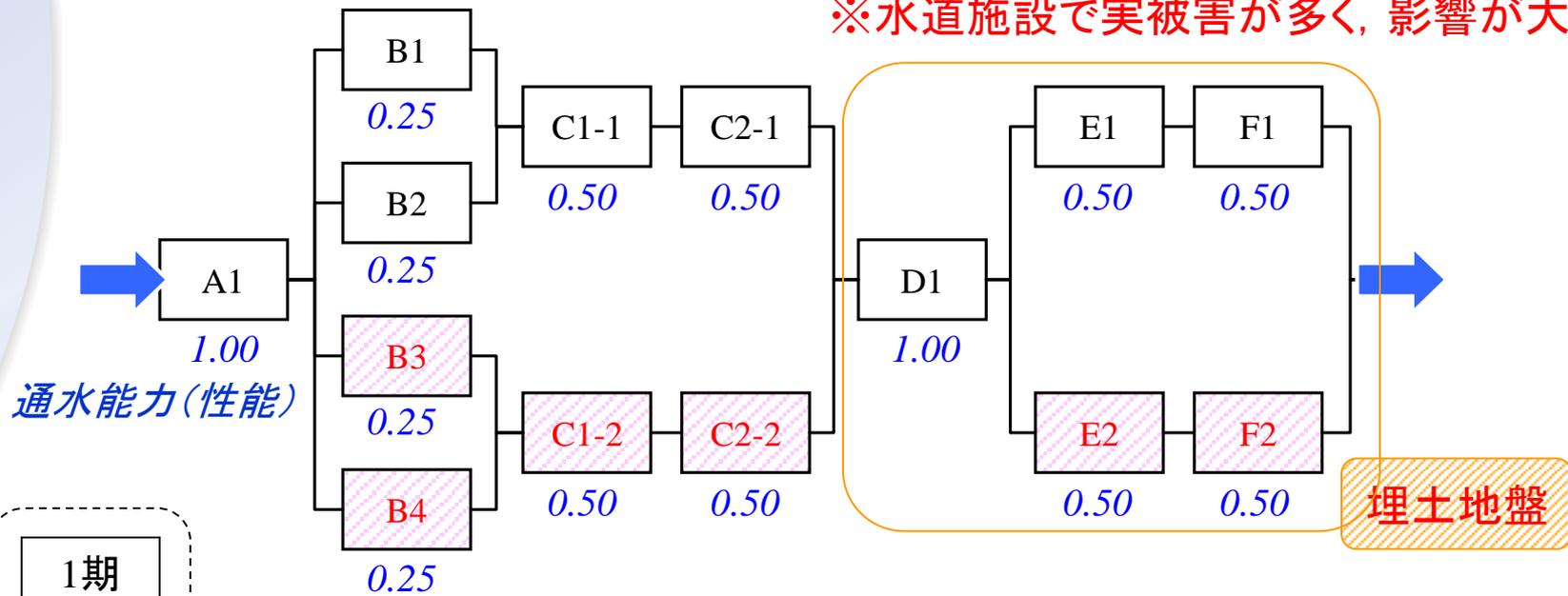
2.1 解析対象モデル

◆ システム構成図

● 構成要素：管路継手部 (A~F)



※水道施設で実被害が多く、影響が大



2.2 地震システムリスク解析 -1

◆ 構成要素を考慮したシステム性能の評価 ※)中村ら, 2010

● 性能の確率変数

- ・ $A1 \sim F2$ が被災する確率 : P_i ($i = A1, A2, \dots, F2$)
- ・ 構成要素の性能 : R_i (※ 被災時の性能は「0」)

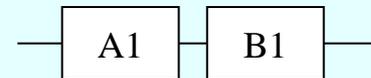
● 各構成要素の確率関数

- ・ 要素被害の可能性を表す *Fragility Curve* より求める
- ・ 管路継手部の限界最大速度(耐力中央値)と工学的基盤速度

● 構成要素が直列の場合

- ・ 構成要素の**最小性能**に支配

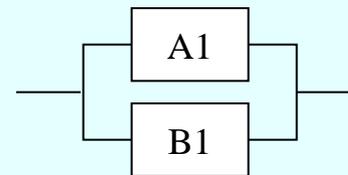
$$R_{sys} = \min(R_{A1}, R_{B1})$$



● 構成要素が並列の場合

- ・ 構成要素の**合計性能**の支配

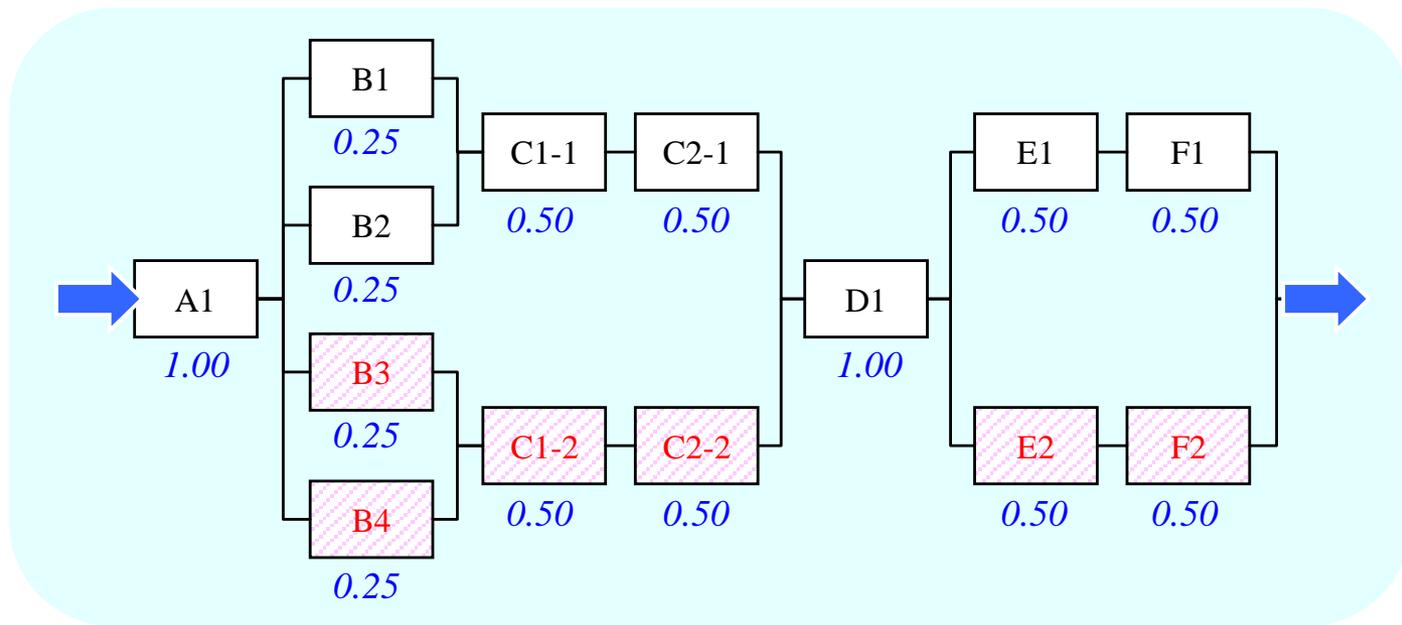
$$R_{sys} = (R_{A1} + R_{B1})$$



2.2 地震システムリスク解析 -2

◆ 構成要素を考慮したシステム性能の評価

- 構成要素が直列・並列混合のシステム性能



$$R_{sys} = \min(R_{A1}, \min(R_{B1} + R_{B2}, R_{C1-1}, R_{C2-1}) + \min(R_{B3} + R_{B4}, R_{C1-2}, R_{C2-2}), R_{D1}, \min(R_{E1}, R_{F1}) + \min(R_{E2}, R_{F2}))$$

2.2 地震システムリスク解析 -3

◆ 構成要素を考慮したシステム性能の評価

● 継手限界最大速度(耐力中央値)の設定

- ・ 継手変位量を藤本・翠川の式等により**工学的基盤面絶対速度**へ換算
- ・ 継手変位量は1期系統 20mm, 2期系統 100mm とした

構成要素			1期系統		2期系統	
記号	系列数	性能	PBV	復旧	PBV	復旧
A	1	1.00	65 cm/s	5 日		
B	2	0.50	65 cm/s	2 日	325 cm/s	2 日
C	4	0.25	65 cm/s	3 日	325 cm/s	3 日
D	1	1.00	20 cm/s	5 日		
E	2	0.50	20 cm/s	3 日	98 cm/s	3 日
F	2	0.50	20 cm/s	3 日	98 cm/s	3 日

※ D,E,Fは埋土地盤に布設された管路継手

※ 構造物のアスペクト比が小さいことから躯体変位量は考慮しない

2.3 最適投資額の算定方法 -1

◆ 最適投資額算定手順

● 間接被害額（算定期間50年，換算係数法）

- ・ 水道事業の費用対効果分析マニュアルに準じた**断水被害額の算出**

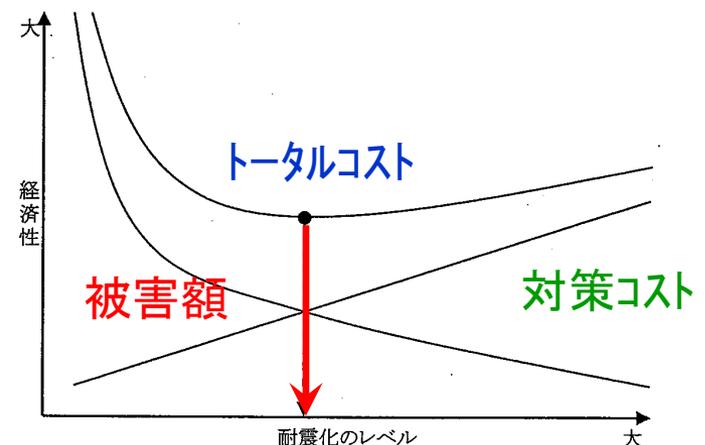
$$\left(\begin{array}{ll} \text{生活被害額} & : (\text{断水人口} \times \text{復旧日数} \times \text{原単位}) \\ \text{業務営業被害額} & : (\text{影響度} \times \text{原単位}) \\ \text{工場被害額} & : (\text{原単位} \times \text{影響水量}) \times \text{産業連関} \end{array} \right.$$

● 対策コスト（算定期間50年，換算係数法）

- ・ 構成要素の耐震化に必要な建設改良費を計上
- ・ 補強箇所は限界変位量 200mm（基盤速度 195cm/s）に相当
※ 躯体接続部に**伸縮可とう管**を設置し，区間の管路は全て**ダクトイル鑄鉄管（NS継手）**に布設替する

● トータルコストの算出

- ・ トータルコスト =
(間接被害額 + 対策コスト)
- ・ 経済性照査の考え方

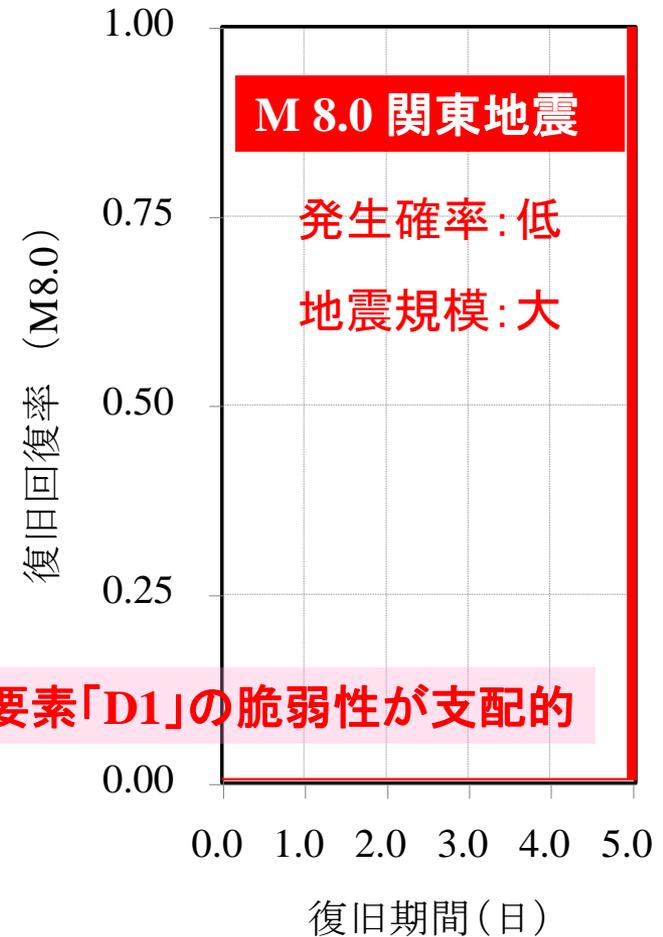
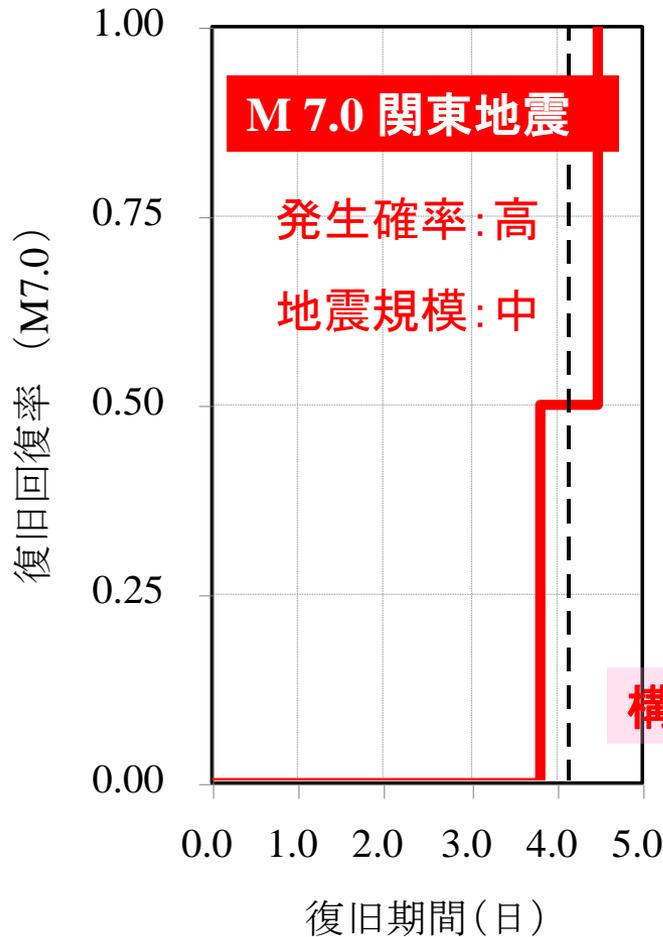
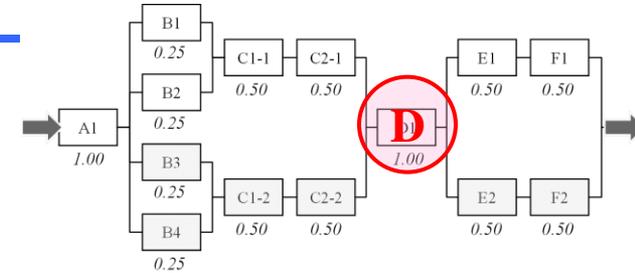


3.1 復旧シミュレーション - 1

◆ 現況の復旧曲線

● シナリオ地震ごとの復旧曲線

- ・ 構成要素の復旧は同時並行で実施する

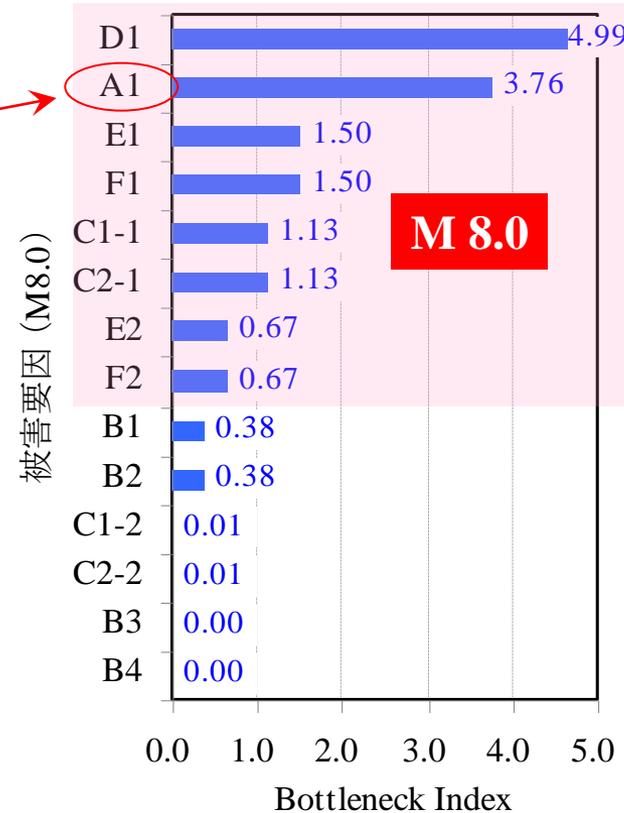
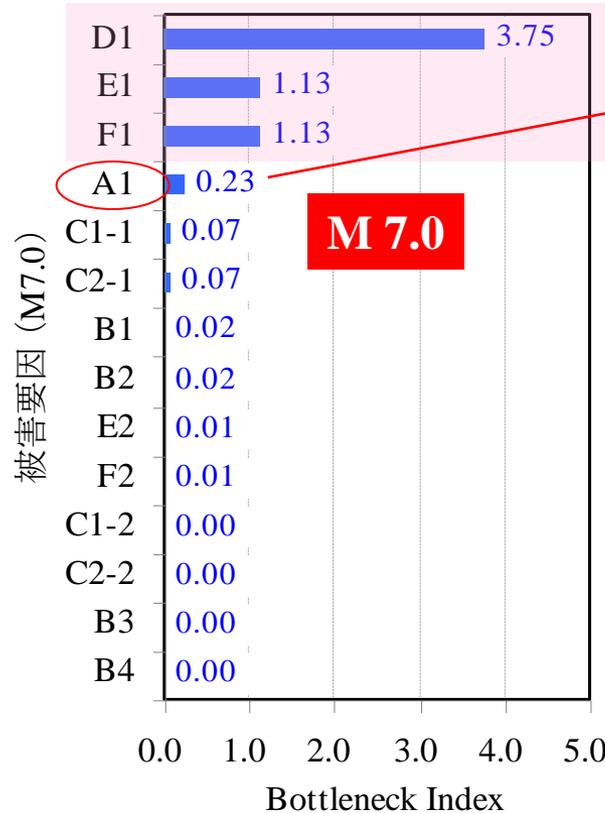
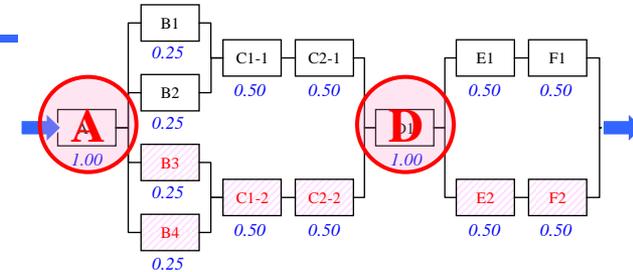


3.1 復旧シミュレーション - 2

◆ 対策箇所を選定

● ボトルネック・インデックス (B.I.)

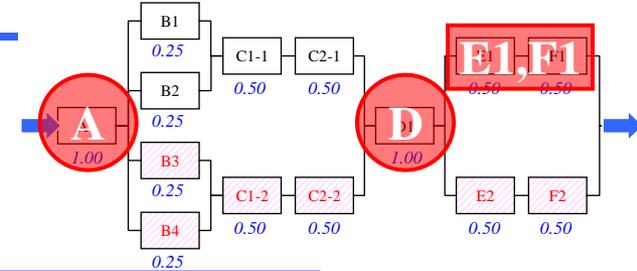
・ 性能 × 被災確率 × 復旧日数の積 → 構成要素の全体復旧への影響度



3.1 復旧シミュレーション - 3

◆ 補強後の復旧曲線

● 補強ケースと復旧曲線

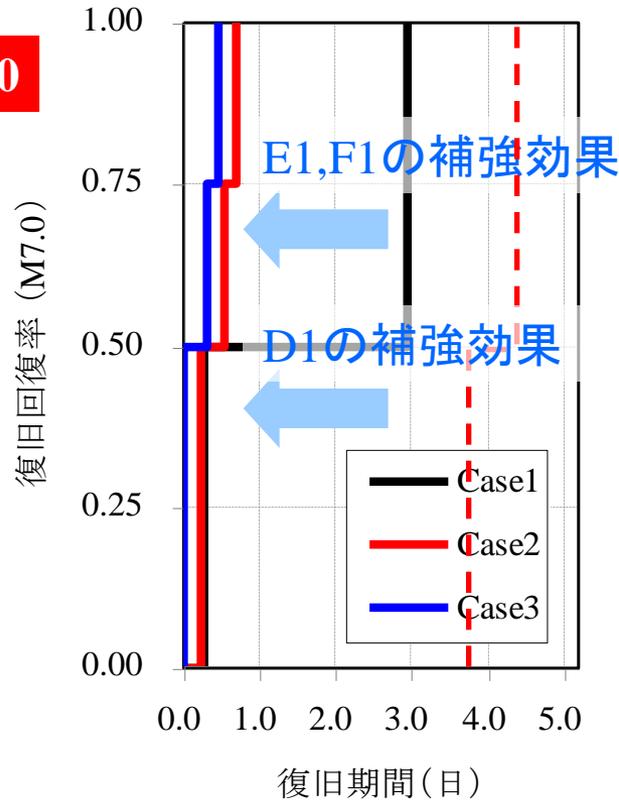


Case-1: B.I.が最も大きな「D1」配管のみを補強

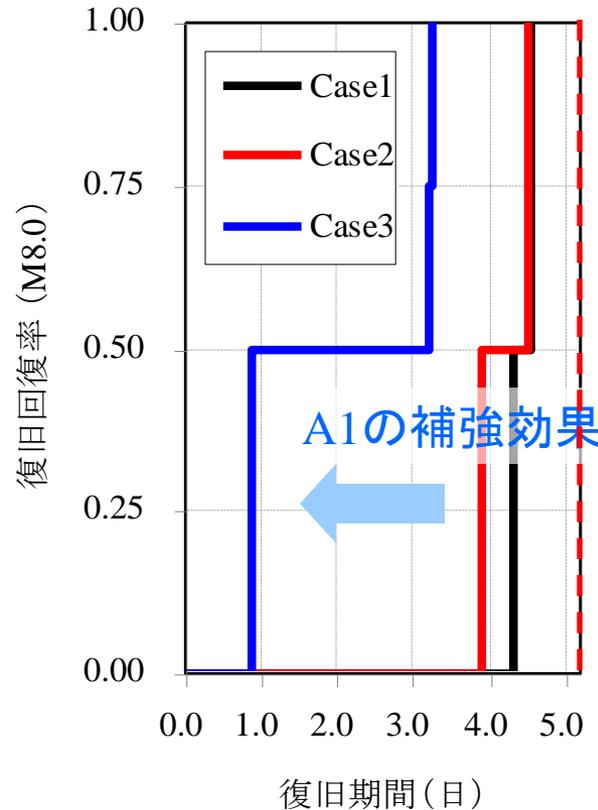
Case-2: M 7.0で影響が大きい「D1,E1,F1」配管を補強

Case-3: M 8.0で影響が大きい「D1,A1,E1,F1」を補強

M 7.0



M 8.0



3.2 最適投資額

◆ トータルコストの最小化

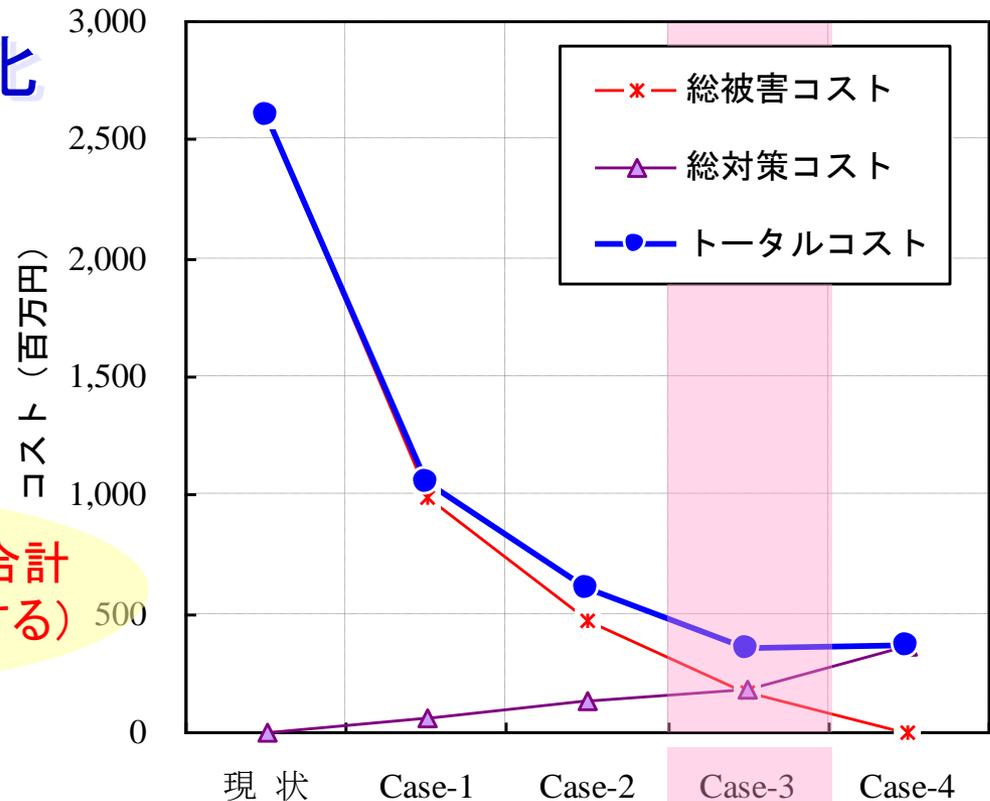
● 最適ケース

- ・ *Case-3*が最適

(投資額:156百万円)

(総費用;347百万円)

M7.0とM8.0のコストを合計
(地震は独立して発生する)



全て耐震化が理想

トレードオフ

効率的な投資

財政的制約

検討ケース	総被害コスト (百万円)	総対策コスト (百万円)	トータルコスト (百万円)	改良投資 (百万円)
現状	2,599	0	2,599	0
Case-1	988	62	1,050	55
Case-2	472	132	604	117
Case-3	171	176	347	156
Case-4	0	366	366	324

全要素を補強するケース →

4.1 結論と課題

- ⊕ 浄水場配管の耐震化状況や耐震化事業の効果を、「復旧日数」、「復旧日数の短縮」として定量化することで、利用者が理解し易い表現が可能となった。
- ⊕ ボトルネック・インデックスを算出することで、対象地震によって、効果的な対策箇所が異なることを定量的に評価することができた。
- ⊕ 耐震化事業の効果を、間接被害額の減額として貨幣価値化することで、事業の最適投資額を算出することができた。
- ⊕ 浄水施設から配水管路ネットワークを含めた、水道システムの全体最適投資額の算出が不可欠。