生産施設の復旧性能

- 製造装置の余剰性能を考慮した 地震時復旧曲線に関する事例研究 -

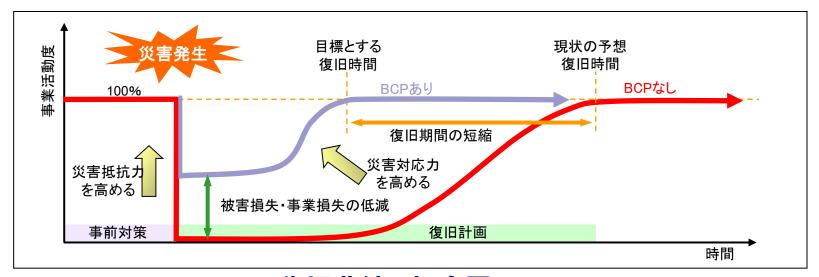
ハザマ 技術研究所 境 茂樹



官庁・民間企業のBCPが浸透してきたものの、ハード対策が遅れている状況にある。

要因の1つ:対策の費用対効果・優先順位が明示されていない。

⇒ 復旧曲線の定量的な評価とその明示が重要

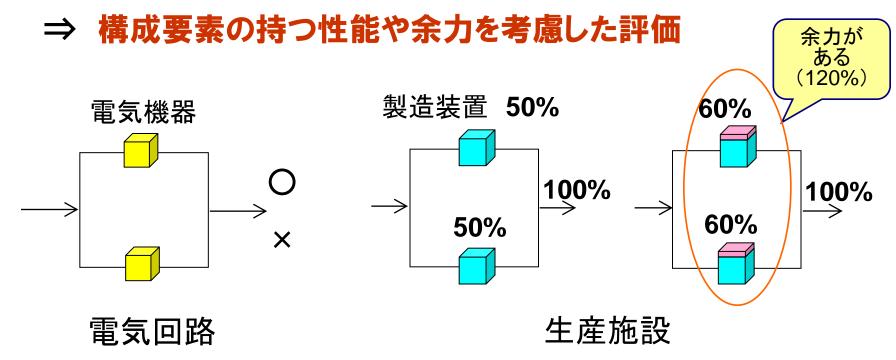


復旧曲線の概念図



研究の概要

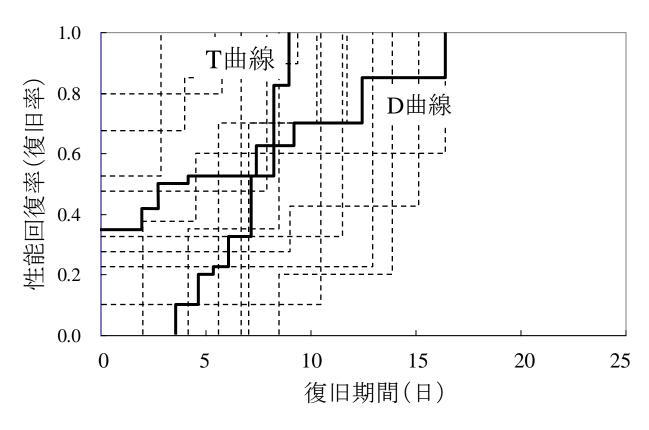
- ◎従来の機能の地震リスク評価:
 - ⇒ 機能を構成する要素の損傷により稼働するか否かの 2対応(1or O)の評価
- ◎本提案における地震リスク評価(生産工場など):





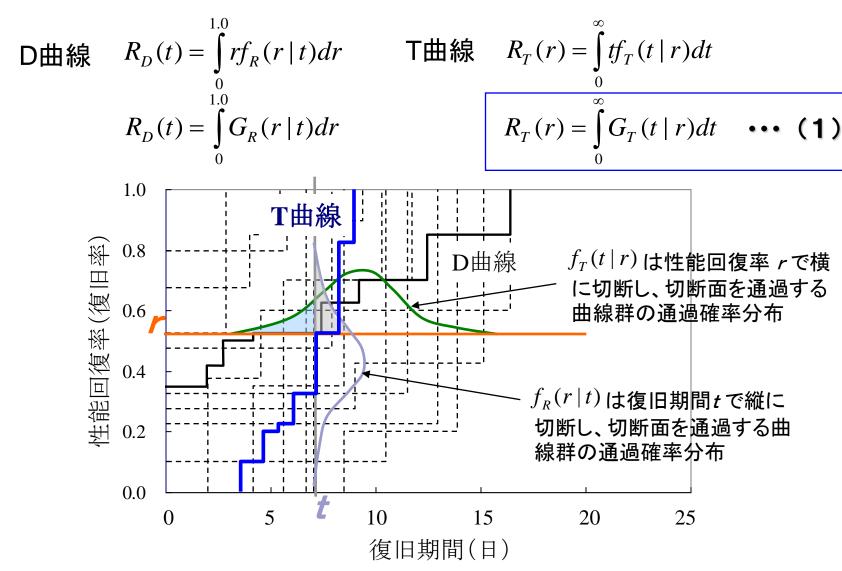
復旧曲線の定義(1)

復旧曲線は、本来の機能が低下あるいは停止し、その後、 機能が完全に回復するまでの経時的なプロセスを描いた曲線



復旧曲線(T曲線とD曲線)

復旧曲線の定義(2)



復旧曲線(T曲線とD曲線)

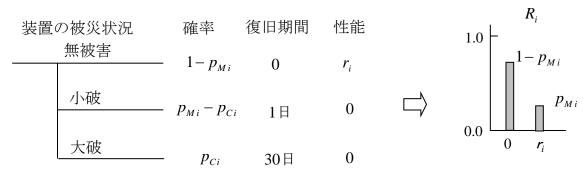


構成要素の性能を考慮した復旧曲線(その1)

並列システム:
$$R_{sys} = \sum_{i=1}^{n} R_i$$
 ・・・・ (2) $R_{sys} = \min_{i=1}^{n} R_i$ ・・・・ (3)

直列・並列混在システム: $R_{sys} = \min(R_1, \min(R_3, R_4 + R_5) + R_2, R_6)$ ・・・ (4)

 $%R_{SYS}$: システムの性能の確率変数、 R_i : 要素 / の性能の確率変数



 R_i は構成要素の性能(%)

構成要素iの損傷確率と性能の確率関数



構成要素の性能を考慮した復旧曲線(その2)

並列システム: $G_R(r) \Rightarrow$ 確率変数の和算

直列システム:
$$G_R(r) = \prod_{i=1}^n G_{Ri}(r)$$

*損傷事象は独立の仮定

復旧期間tを所与とし、t以上になる要素の損傷確率を求め、復旧期間tを条件としたシステム性能の超過確率関数 $G_R(r \mid t)$ を求める。なお、復旧過程においては以下の関係が導かれている。

$$G_T(t \mid r) = 1 - G_R(r \mid t)$$
 ... (6)

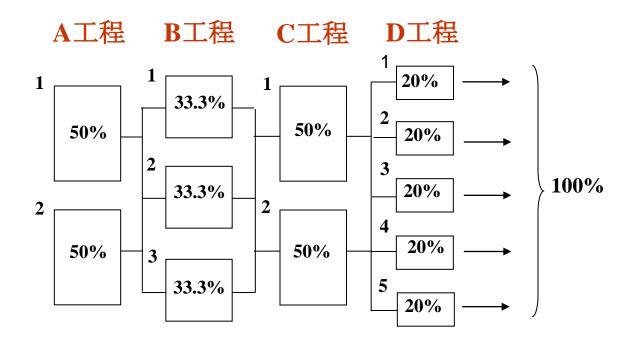
上式から性能rを条件とした復旧期間の超過確率関数 $G_r(t \mid r)$ が求められ、これを(1)式に適用することによって復旧曲線を求めることができる。



生産施設の概要:静岡県浜松市に位置

生産工場、鉄骨造の平屋

生産工程のシステムモデル: 4工程のモデル



生産工程のシステムモデル(基本ケース)



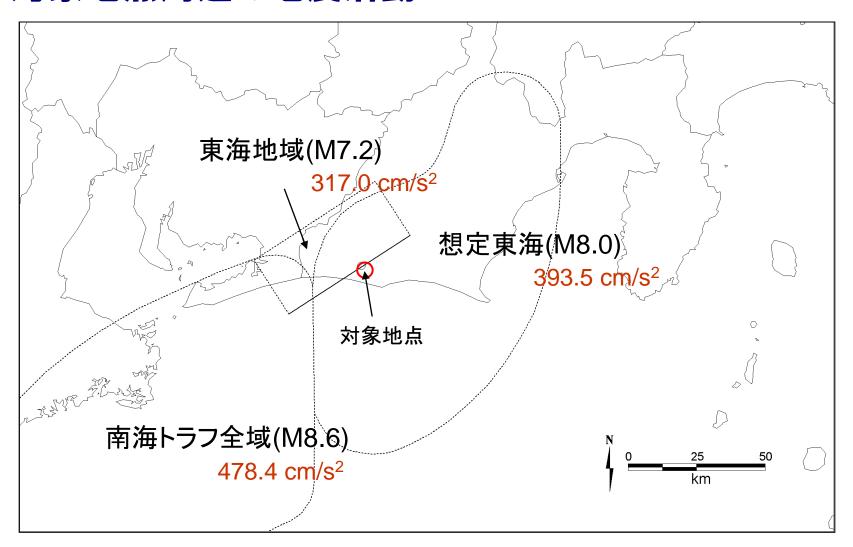
製造装置(構成要素)のフラジリティ情報

製造装置のフラジリティの各パラメータ

工程	被害モード	耐力中央値 (cm/sec ²)	複合偏差	復旧期間 (日)
A	小破	980	0.4	1
	大破	1120	0.4	30
В	小破	420	0.4	1
	大破	550	0.4	30
С	小破	700	0.4	1
	大破	850	0.4	30
D	小破	400	0.4	1
	大破	450	0.4	30

۲

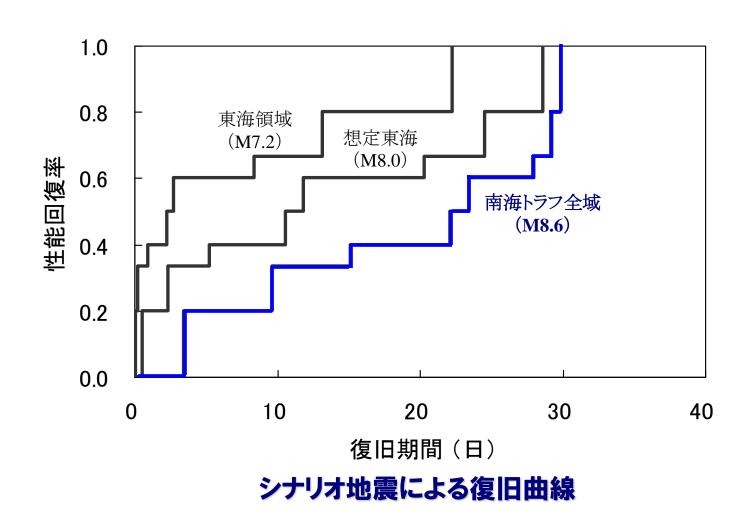
対象地点周辺の地震活動



想定されるシナリオ地震

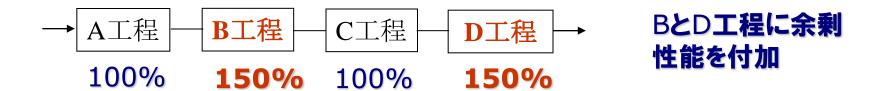
М

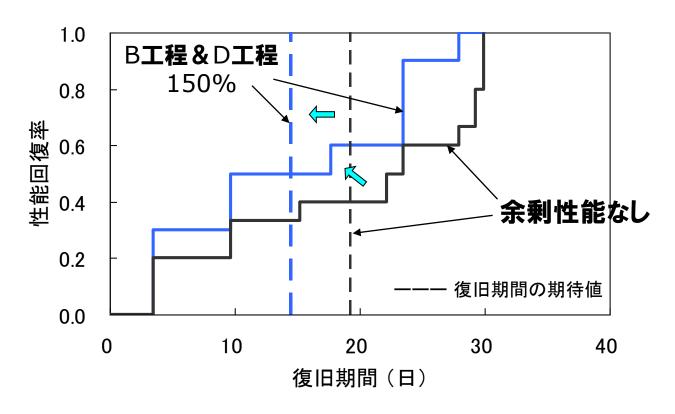
3つのシナリオ地震による復旧曲線



事例解

余剰性能の復旧曲線に与える影響(検討1)





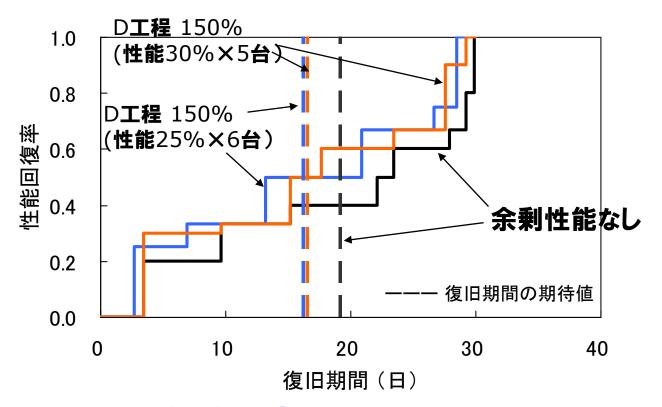
余剰性能の付加による復旧曲線の変化

余剰性能の復旧曲線に与える影響(検討2)

D工程に余剰性能 を付加



- ·能力 30%×5台
- •能力 25%×6台



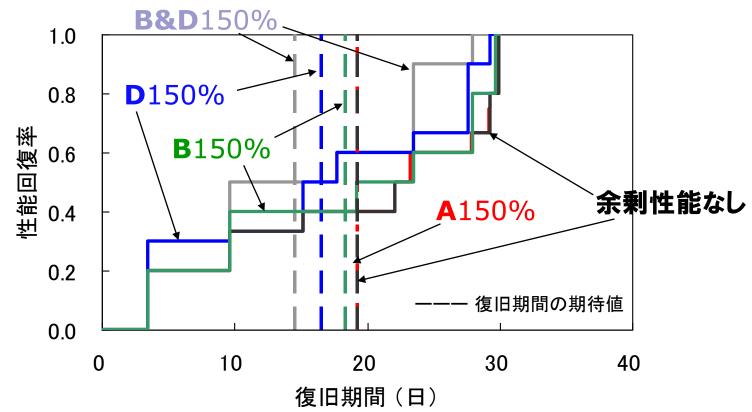
余剰性能の付加による復旧曲線の比較



余剰性能の復旧曲線に与える影響(検討3)

- ・A工程(耐震性 高い) ⇒ 150%
- •B工程(耐震性 中程度) ⇒ 150%
- ·D工程(耐震性 脆弱) ⇒ 150%
- •B&D工程 ⇒ 150%

比較検討

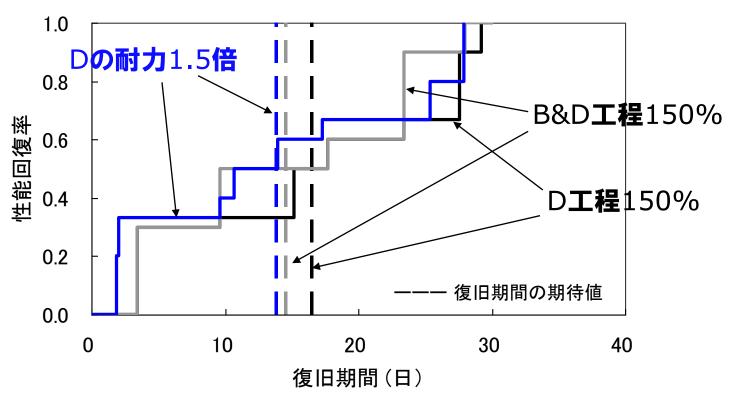


余剰性能を付加する工程の耐震性能の違いによる復旧曲線の比較



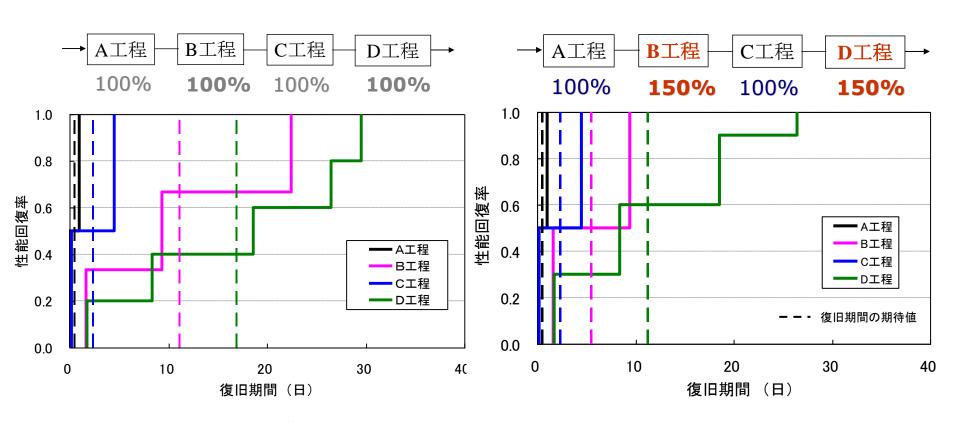
余剰性能の復旧曲線に与える影響(検討4)

- •D**工程** ⇒ 150%
- •B&D工程 ⇒ 150%
- ・D**工程の耐力** ⇒ 1.5倍



余剰性能付加と耐震補強による復旧曲線の比較





余剰性能なし(基本ケース)

余剰性能付加(B&D150%)

余剰性能付加による各工程毎の復旧曲線の比較



まとめ

生産施設を対象として、製造工程の余剰性能を考慮した地震時復旧曲線を評価する方法を提案し、その適用性を検討した。その結果、提案手法により余剰性能の復旧曲線に与える効果を定量的に評価することができ、余剰性能は生産システムの早期復旧に貢献することを示した。

また、事例解析により以下のことが分かった。

- ① 余剰性能の付加は、耐震性能の低い工程に与えるほど 効果的である。
- ② 耐震性能を1.5倍に向上させることは、余剰性能を1.5倍にするよりも復旧期間の短縮に与える効果は大きい。

なお、①、②は生産システムの構成や装置間の損傷相関等に 依存するので一般性のある結論とは必ずしも言えない。



まとめ(続き)

システムの工程毎に復旧期間を検討することは、システム全体 のボトルネックとなる工程を明確にすることができ、対策を効果 的に検討することができる。

本提案手法により、耐震性能と余剰性能を同時に検討することができ、各対策の費用対効果を比較しながら、最適な対策を選択することができる。これは、BCPの実務に有効であり、水道や道路ネットワーク等にも適用可能で、利用範囲は広いと考えられる。

なお、本研究では、構成要素の損傷事象を独立と扱っており、損傷相関を考慮した評価は今後の課題である。