

# 耐震設計と土木計画の融合を 目指して

土木学会地震工学委員会等での議論の経緯

澤田純男

# 耐震設計の現状

- 道路施設の耐震設計実務において、従来は陽に各種コストが評価されたことはなかった。
  - 性能設計を導入する過程で、建設コスト、維持管理コスト、地震リスクを考慮した復旧コストと、利用者不便益を中心とした社会に与える経済被害などを的確に評価してライフサイクルコストが最も小さくなる設計が求められている。

# 交通計画の現状

- 地震被災時を考慮した交通計画が実務上実施されたことはない。
  - 利用者便益を評価する交通流解析自体は交通計画では一般的な手法となっているが．．．

# 耐震設計の性能設計化 レベル2(安全性)

「当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動で建造物の全体系が崩壊しない」

地震リスク評価を陽に入れる余地は、今のところ無い

# 耐震設計の性能設計化

## レベル1(??性)

- レベル1設計が不要であるという意見は、ほとんどない
- 例えレベル2設計で構造物系全体が崩壊しないように設計されていたとしても, レベル1設計で弾性限界を規定することによって中小の地震で被害をコントロールすることが必要であると考えられている

# レベル1に対する新しい要求性能の定義

- レベル1の要求性能として「地震時および地震後に、構造物の機能が、経済的に維持できる」と定義する
  - レベル1設計に期待されているのは、頻繁に弾性限界を超えることによって、点検費用や補修費用、さらには点検や補修のために供用を一時停止することによる経済的被害が過大にならないこと
  - 基本的に修復性すなわち経済性の照査を求められている

# 中小地震被害の

## 合理的なコントロール

コスト

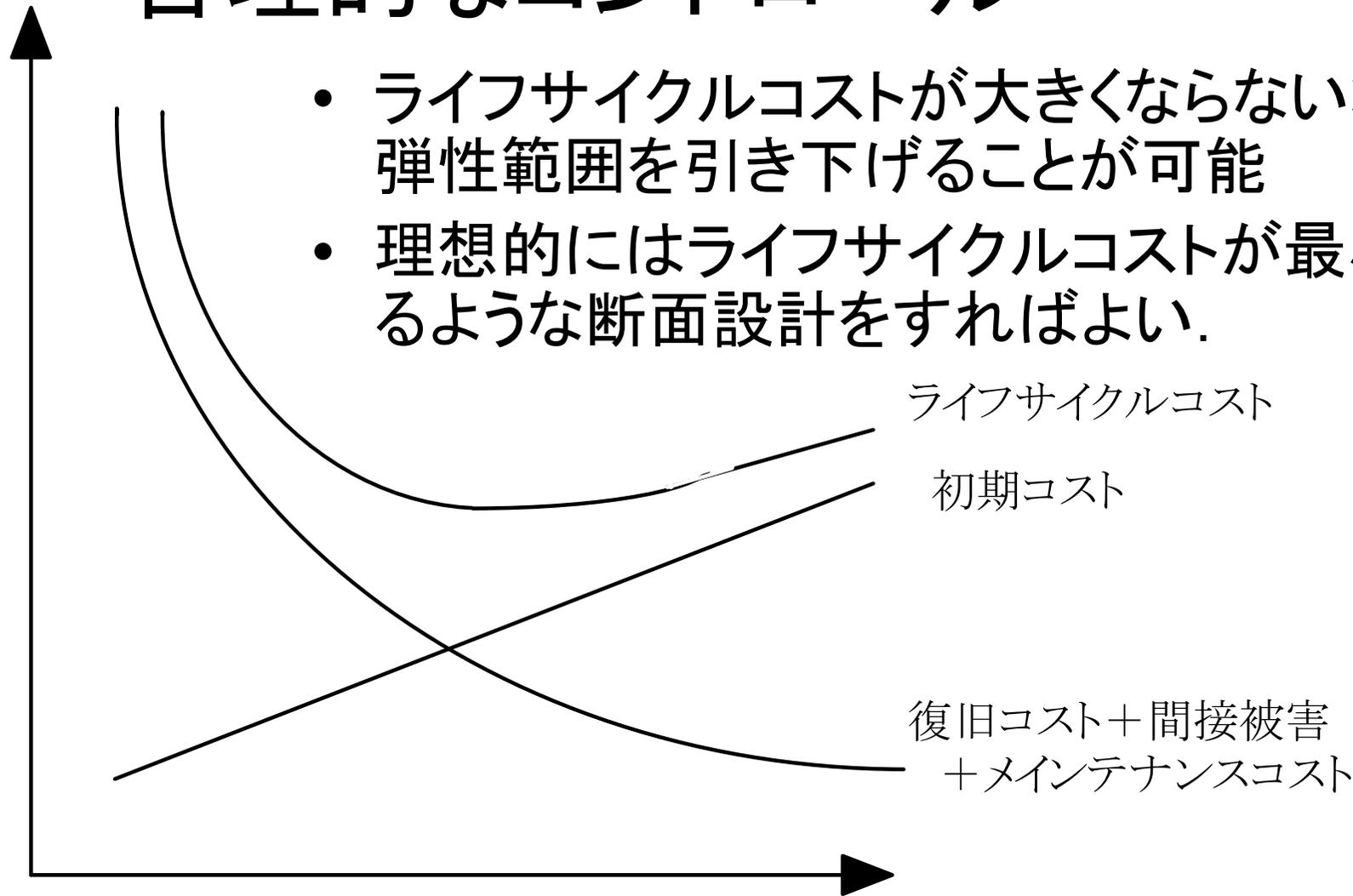
- ライフサイクルコストが大きくならないなら、弾性範囲を引き下げることが可能
- 理想的にはライフサイクルコストが最小になるような断面設計をすればよい。

ライフサイクルコスト

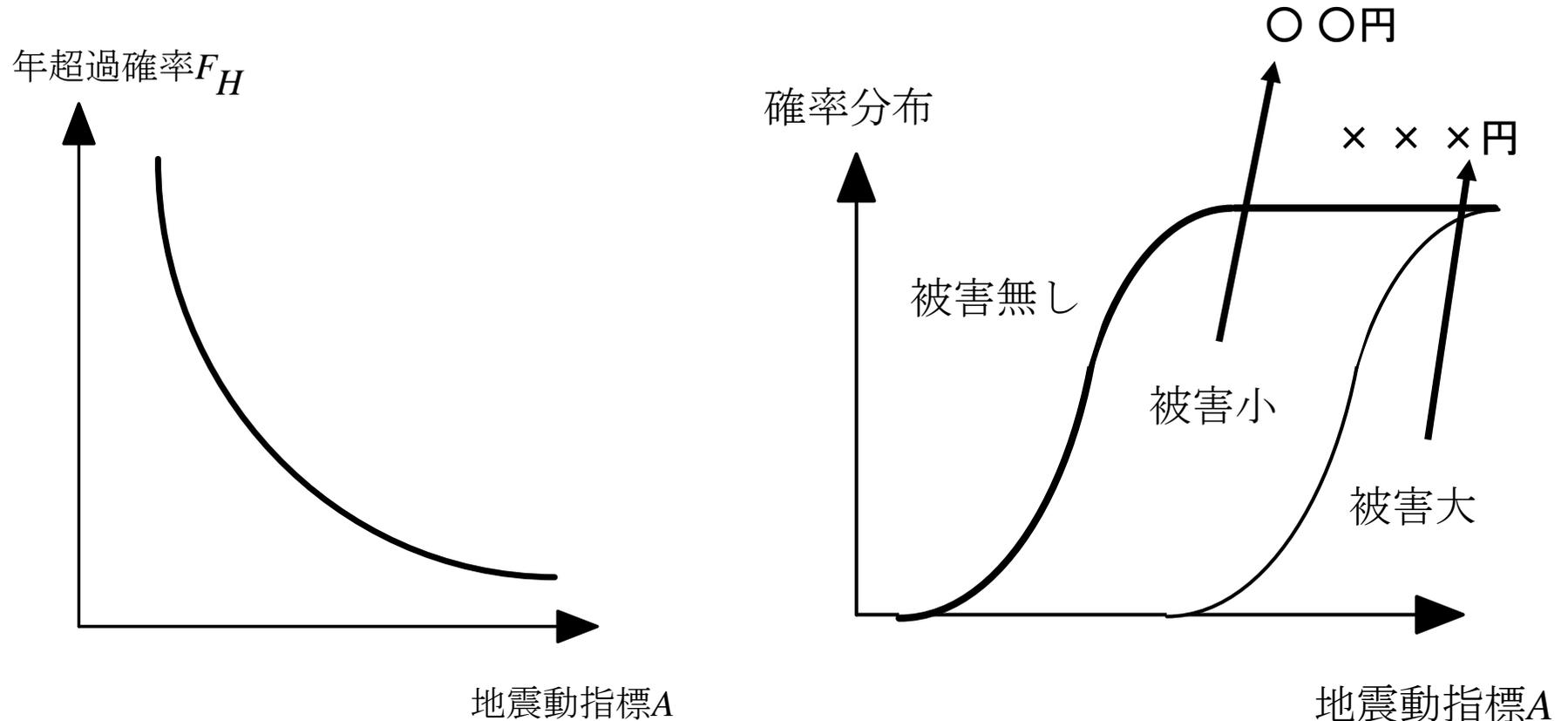
初期コスト

復旧コスト+間接被害  
+メンテナンスコスト

弾性限界

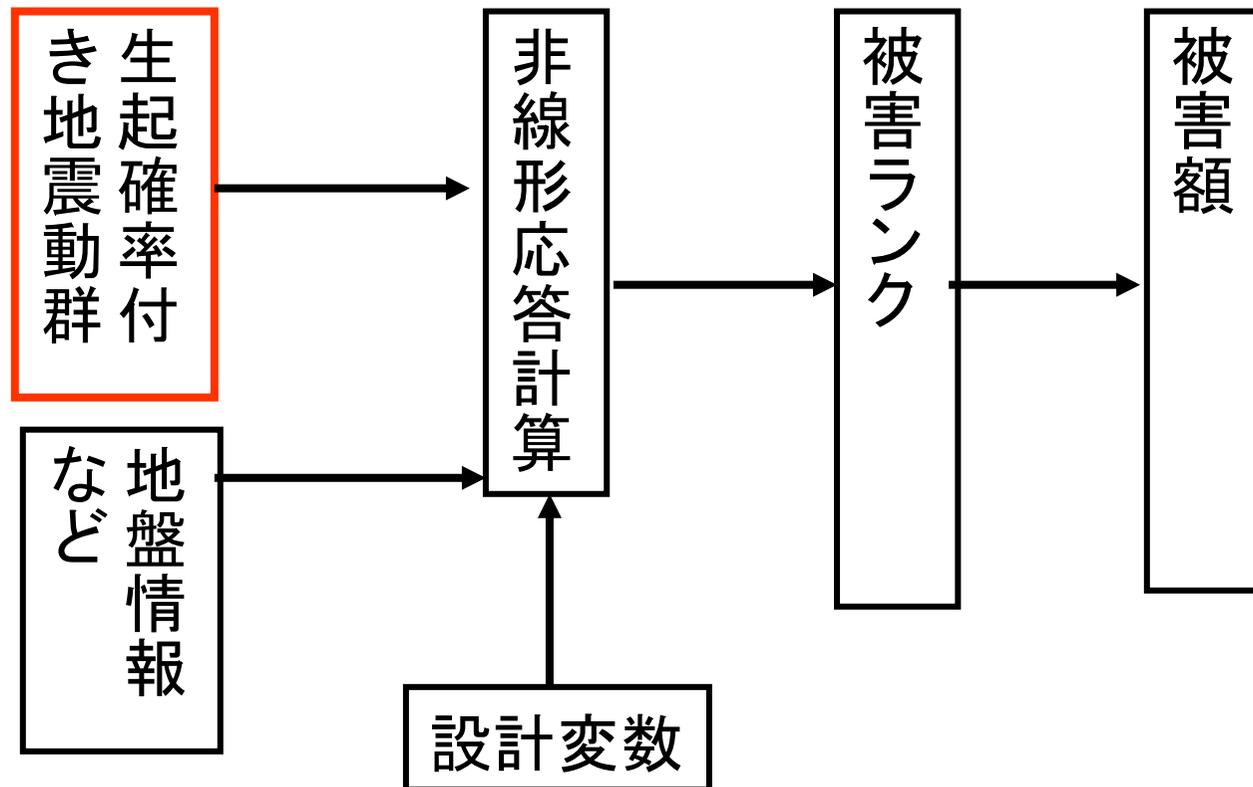


# ハザード曲線とフラジリティ曲線による復旧コスト＋間接被害の算定



- 設計のためには設計変数をパラメータとしたフラジリティ曲線が必要

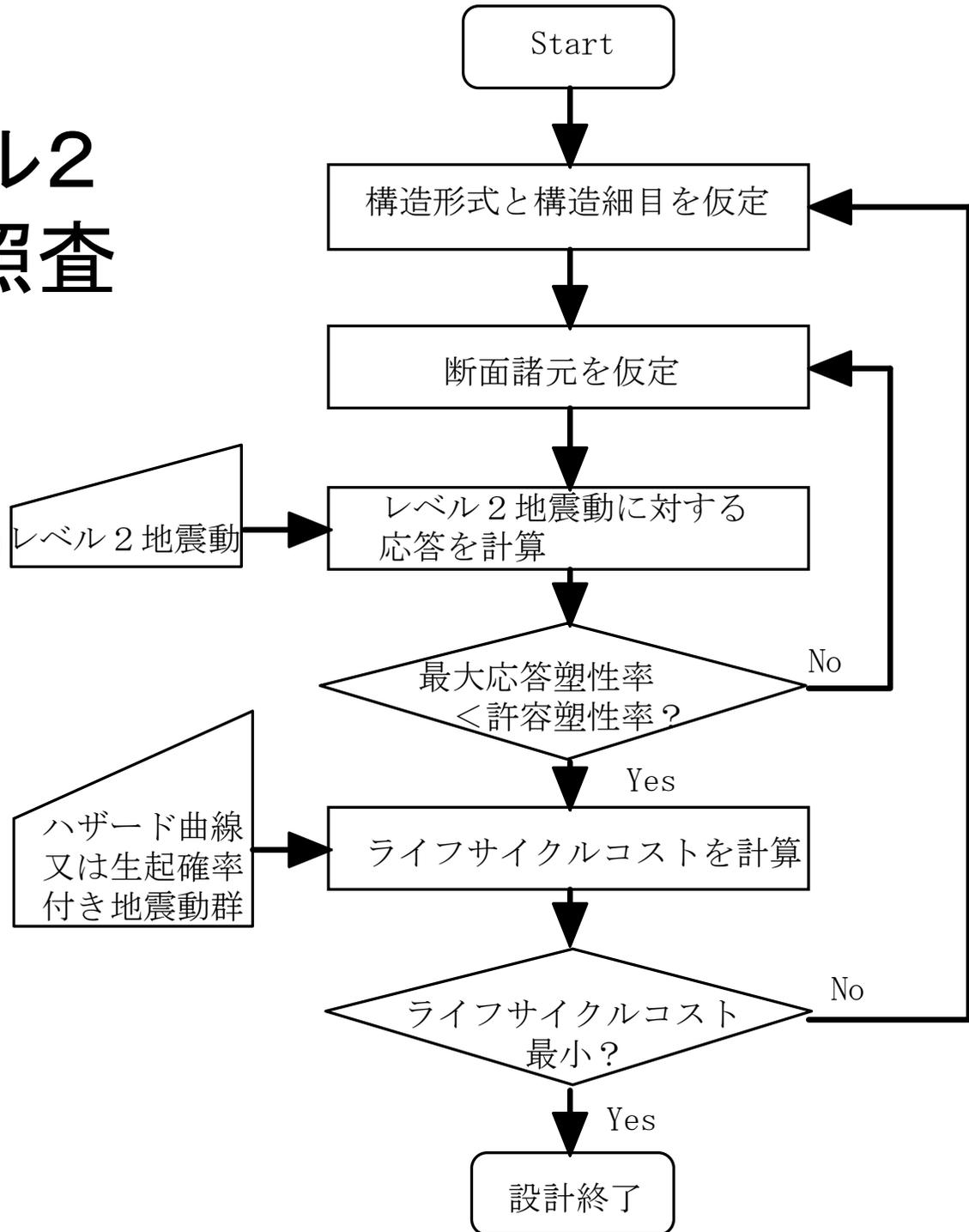
# モンテカルロ・シミュレーションによる復旧コスト＋間接被害の算定



- 多くの地震動に対してこの計算を実施する

# 提案するレベル2 設計と経済性照査 のプロセス

- レベル2(安全性)を制約条件として
- ライフサイクルコスト最小(経済性)問題を解く



## 土木学会地震工学委員会耐震基準小委員会：

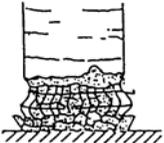
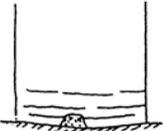
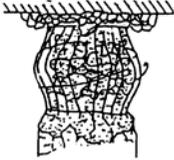
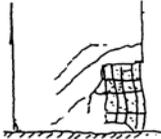
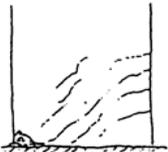
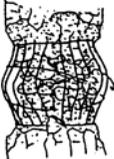
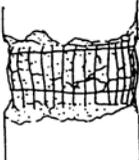
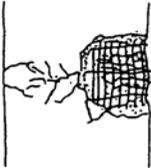
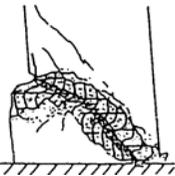
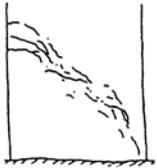
土木構造物の耐震性能設計における新しいレベル1の考え方  
(案)(2003)のまとめ

- 確率論的地震ハザードの導入
  - 地震活動度による地域差の導入
- ライフサイクルコスト最小による理由付け
  - 重要度(利用頻度)による
- 安全性と使用性(修復性)の分離
- 信頼性評価の導入
  - 平均値の利用

# 実際にやるには様々な問題点が

- 設計時点での初期建設コストの算定
- 入力地震動の設定
- ばらつきを考慮した地震応答の算定
- **応答量から被害ランクへの変換**
- **被害ランクに対する復旧コスト**
- メンテナンスコスト
- **間接被害(利用者不便益)の算定**

# 道路橋の被害ランク分類

	As	A	B	C
柱地盤面位置での曲げ破壊				
柱地盤面位置での曲げせん断破壊				
軸方向鉄筋段落し部での曲げせん断破壊				
柱地盤面位置でのせん断破壊				

# じん性率と被害ランクの関係

損傷形態	被害ランク		割合(%)				
	じん性率	総数	Aランク	Bランク	Cランク	Dランク	
曲げ先行	A	8.5	7	0	0	86	14
	B	6.05-8.5	16	0	25	63	12
	C	4.05-6.05	54	20	15	37	28
	D	4.05以下	22	32	18	9	41
せん断先行	1.0	59	51	17	10	22	

# 復旧コストの概算

- 実績ベースでの復旧コスト算定は、**兵庫県南部地震における復旧実績**に蓄積によるところが大きい。
- 大規模なコストが要すると考える部位については、**あらかじめ低コストな復旧方法を開発**することにより、ライフサイクルコストを縮減することが可能

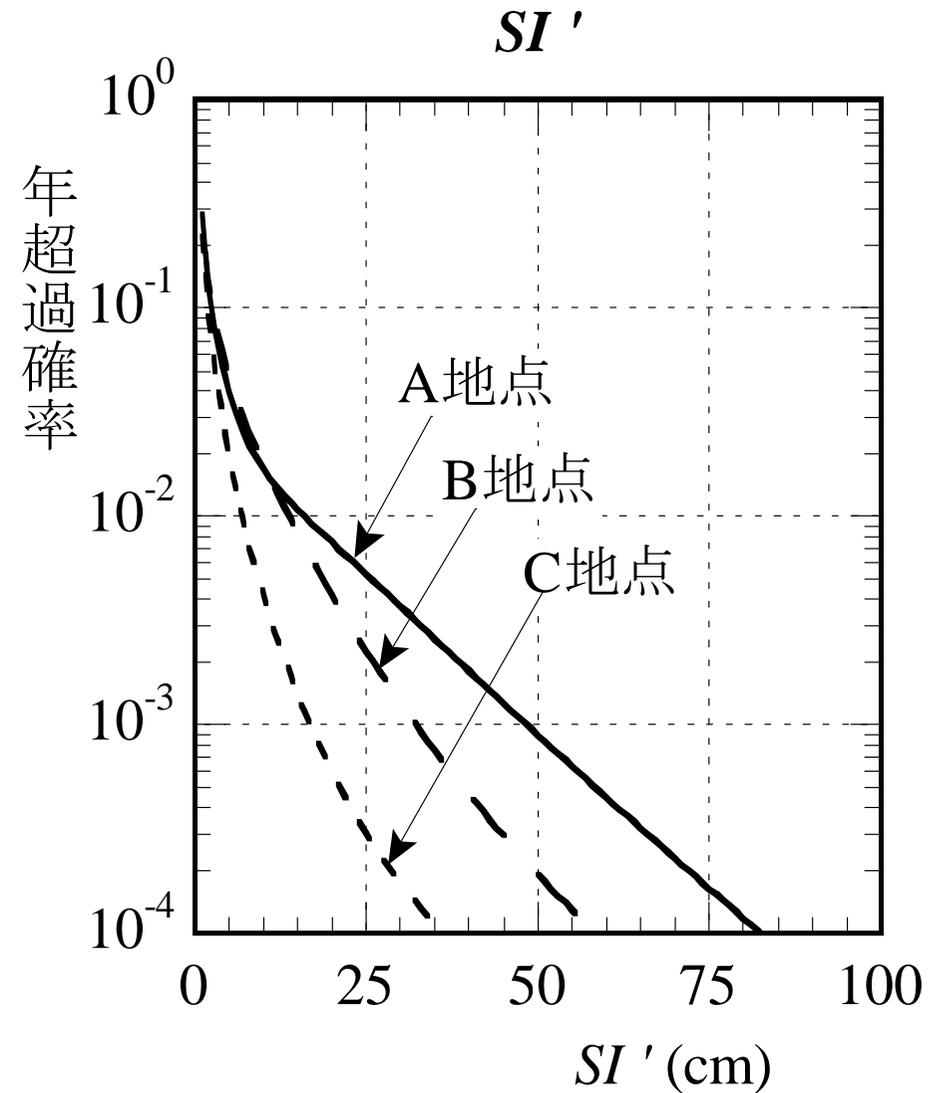


# 間接被害（利用者不便益）の概算

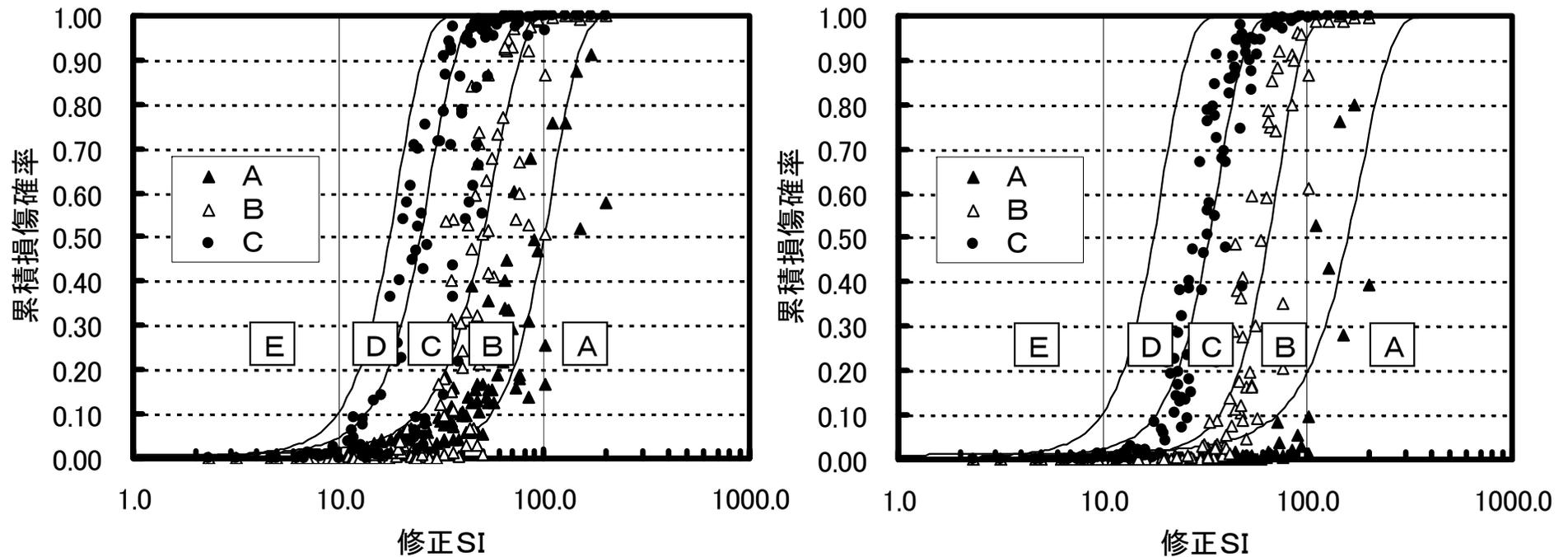
- 間接被害推定は，新規整備による便益推定の手法を援用することが可能
  - 時間が短縮した場合の計算法に時間が増加した場合の数値を入力することで算出できる。
  - 部分的な破損がネットワーク全体に対してどのようなサービス水準の変化をもたらすのかを推定する必要あり

# LCC試算に用いるハザードカーブ

- A地点(高ハザード),  
B地点(中ハザード),  
C地点(低ハザード)  
の3種類のハザード  
カーブ
- 0.2~1.2秒のスペクト  
ル強度 $SI'$



# 単一道路橋のフラジリティ曲線の選定



- 都市内高速道路高架橋の構造物データベースをもとに、多数の地震動に対する地震応答解析を実施することにより、地震動強度と橋脚の損傷程度の関係を解析的に求めた

## 道路橋の新設費用

- H8道示：水平耐力法に基づき新設する場合に要する建設費用－約 4.0 億円／橋
- S39道示：震度法のような旧来の手法に基づき建設する建設費用－約 3.4 億円／橋

	S39道示	H8道示
橋桁	70%	59%
橋脚	5%	7%
基礎	25%	34%
橋梁全体	3.4 億円／橋	4.0 億円／橋

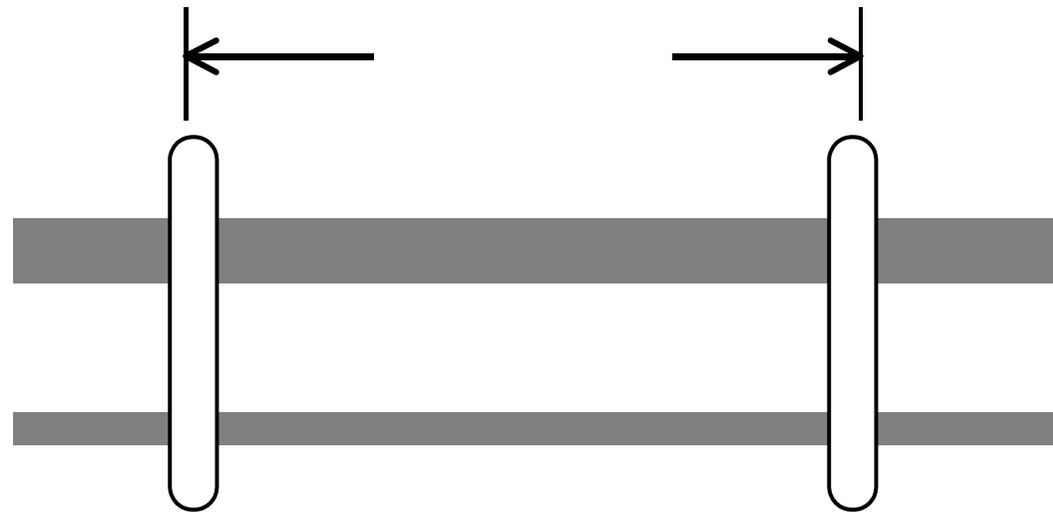
## 道路橋の復旧期間

- 兵庫県南部地震において被災した阪神高速道路3号神戸線の復旧期間に関するデータを分析し、被災度と復旧期間の関係を整理（亀田ら）

被災度	橋桁	橋脚	基礎
A s	3 1 0	3 0 0	
A	3 1 0	3 0 0	
B	1 2 0	1 0 0	b 1 : 3 6 0 b 2 : 3 6 0
C	1 2 0	1 0 0	6 0
D	1 2 0	1 0 0	—

# 単純化モデルによる試算例

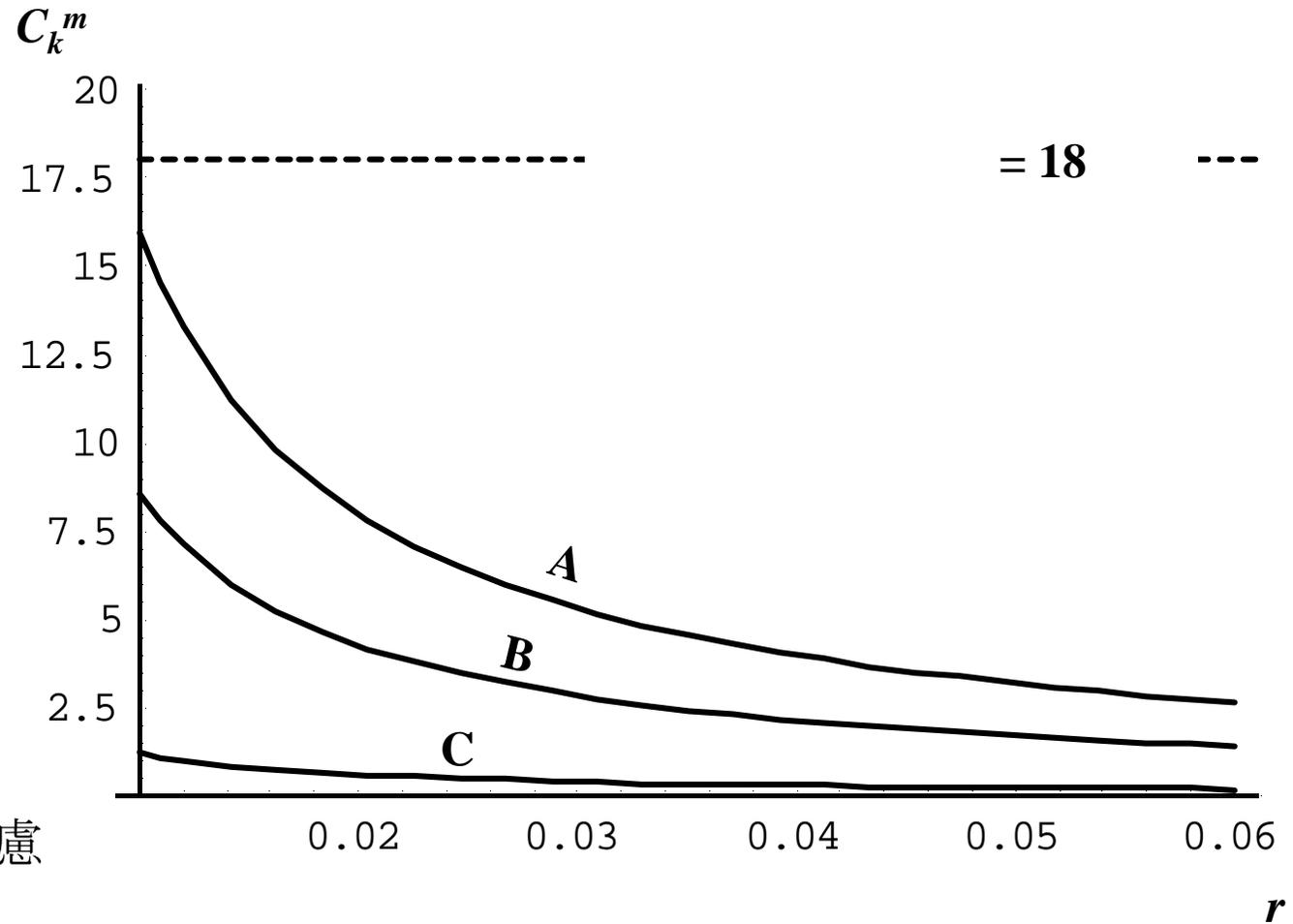
- 一般道と併走する高速道路リンクを対象
  - 生田川－麻耶 間
- 1.9kmの区間の高架橋に30本の橋梁を想定



## 利用者便益(間接被害)の試算

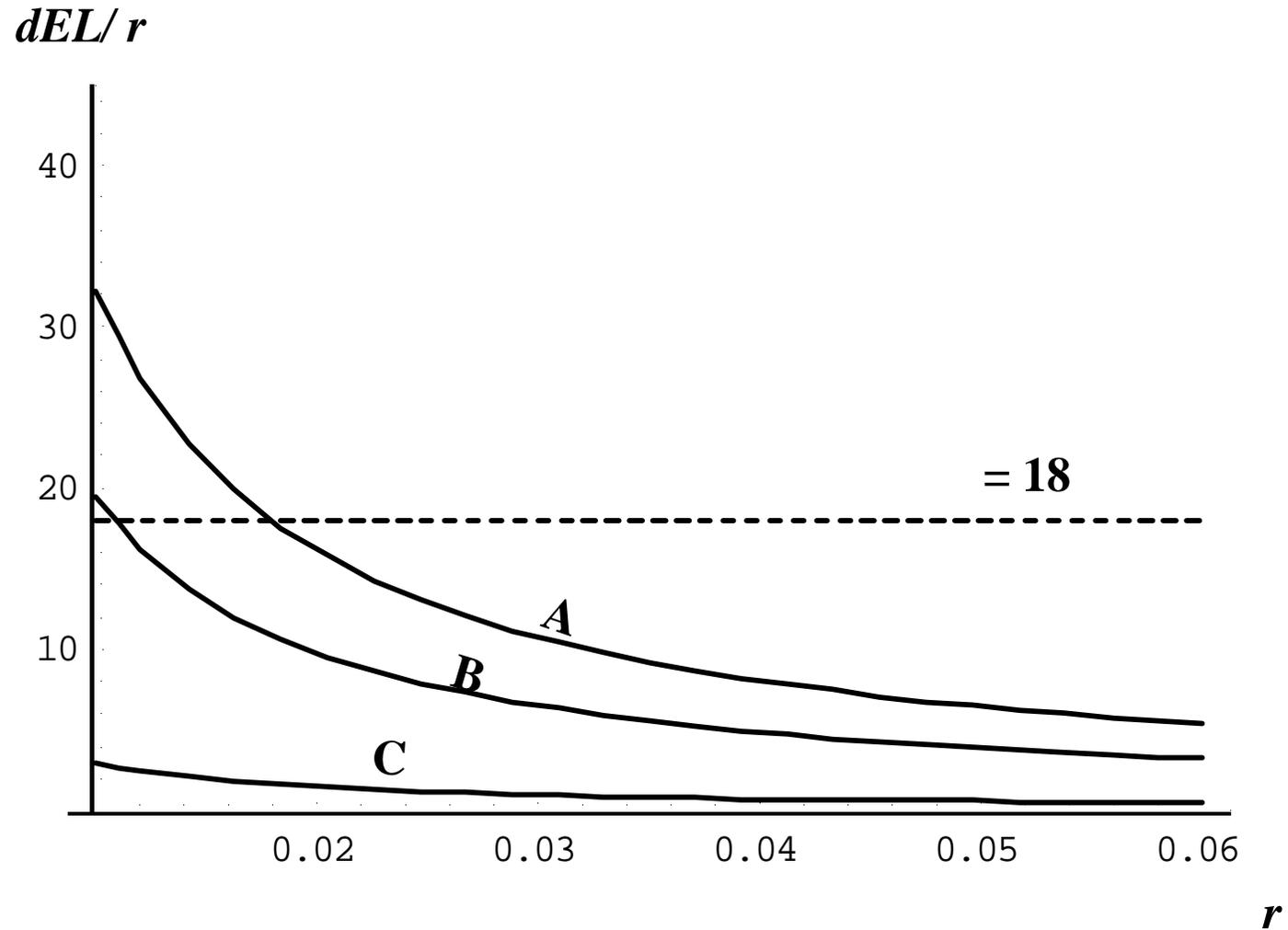
- 阪神高速道路3号神戸線の日交通量は概ね11万台
  - 地震前後で交通需要は不変(経済活動不変, 迂回なし)
- 阪神高速道路上の平均移動速度は約67.4km/h, 一般道を約17km/h
  - 一般道の渋滞無し
- 迂回による所要時間の増加は1台当たり約5分
- 時間価値を50(円/分)
  
- この区間の閉鎖によって生じる利用者便益の損失は、一日当たり約0.2758億円
  
- 被災度Aで310日、被災度Bで120日の閉鎖

# 橋脚30本の耐震性向上の便益と費用の比較



- 期待値
- 復旧費用のみ
- 間接被害は考慮していない

# 間接被害を含む場合の費用と便益の関係



# 単純化モデルによる試算の問題点

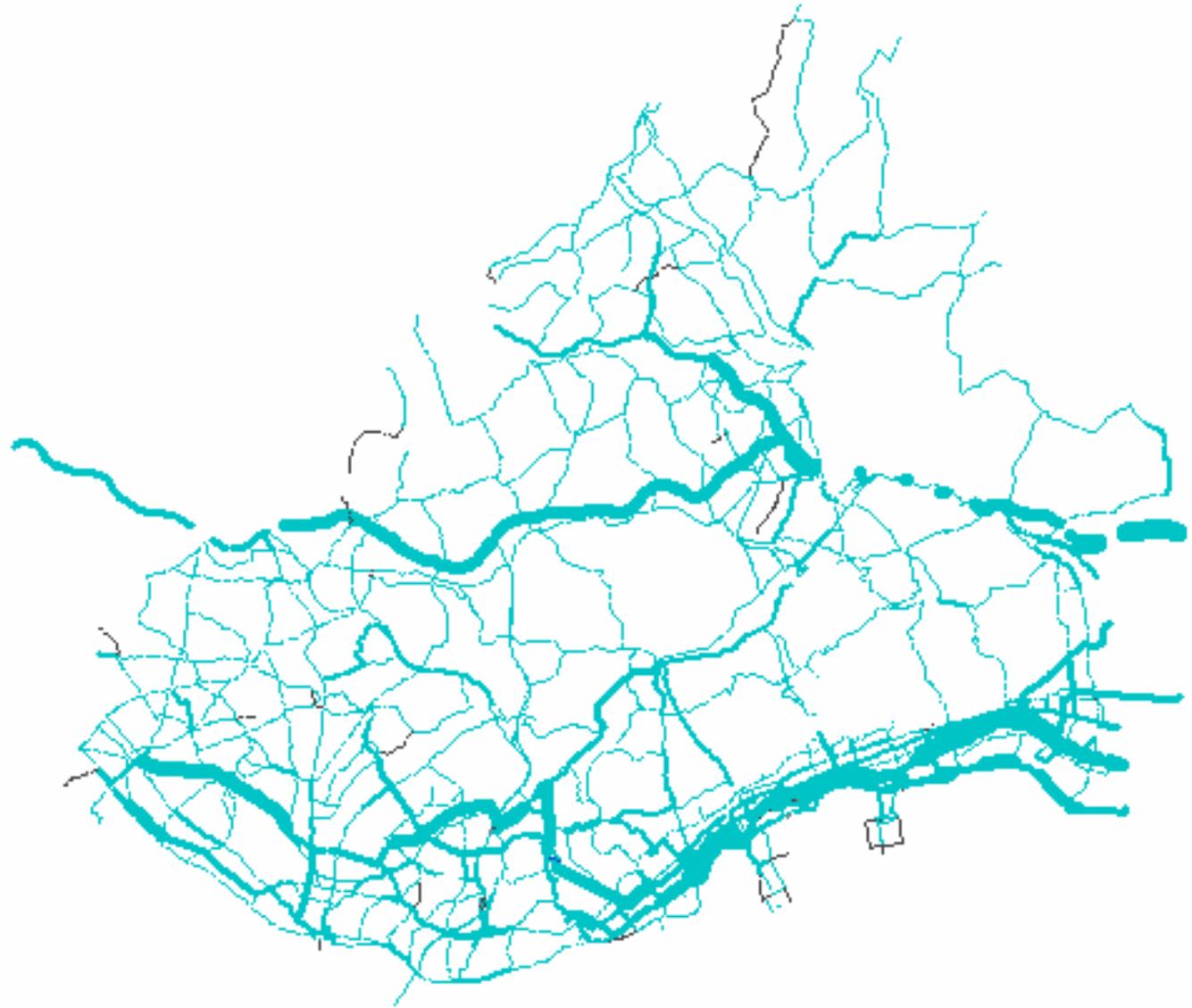
- 地震前後の交通需要の変化などを取り込む
  - 道路ネットワークの交通流解析が必要
  - 経済性照査を詳細化すればするほど、計画時の検討と変わりがなくなる。
  - 逆に計画時に地震時の経済性が詳細に検討されることはまれ
- 計画と設計、およびそれ以降の決定の間に関し  
ては、要求性能、目標管理水準等、上位の段階で決定  
し、下位の段階の制約とすべき項目を含めて、今後検  
討を進める必要がある。
  - 計画と設計間のインターフェイスを規定することが必要

詳細モデルによる試算~~表~~のQd



# 平常時の交通量分布

- 太さ:交通量



# 道路橋被災度と耐震化効果の分布

- 橙:耐震化に関わらず被災度A
- 青:耐震化に関わらず被災度B
- 緑:耐震化によって被災度B→0
- 水:耐震化によって被災度A→B



地震シナリオ16  
(有馬高槻、再現期間4,866)

# 耐震化前後での被災時交通量の変化

- 赤:耐震化前より交通量が増加
- 青:耐震化前より交通量が減少
- 太さ:交通量変化の絶対値

交通量の変化は、  
ネットワーク全体  
で起こる

耐震化効果により、  
東西方向のトリップ  
が県道などから  
高速道路にシフト  
する。



地震シナリオ16  
(有馬高槻、再現期間4,866)

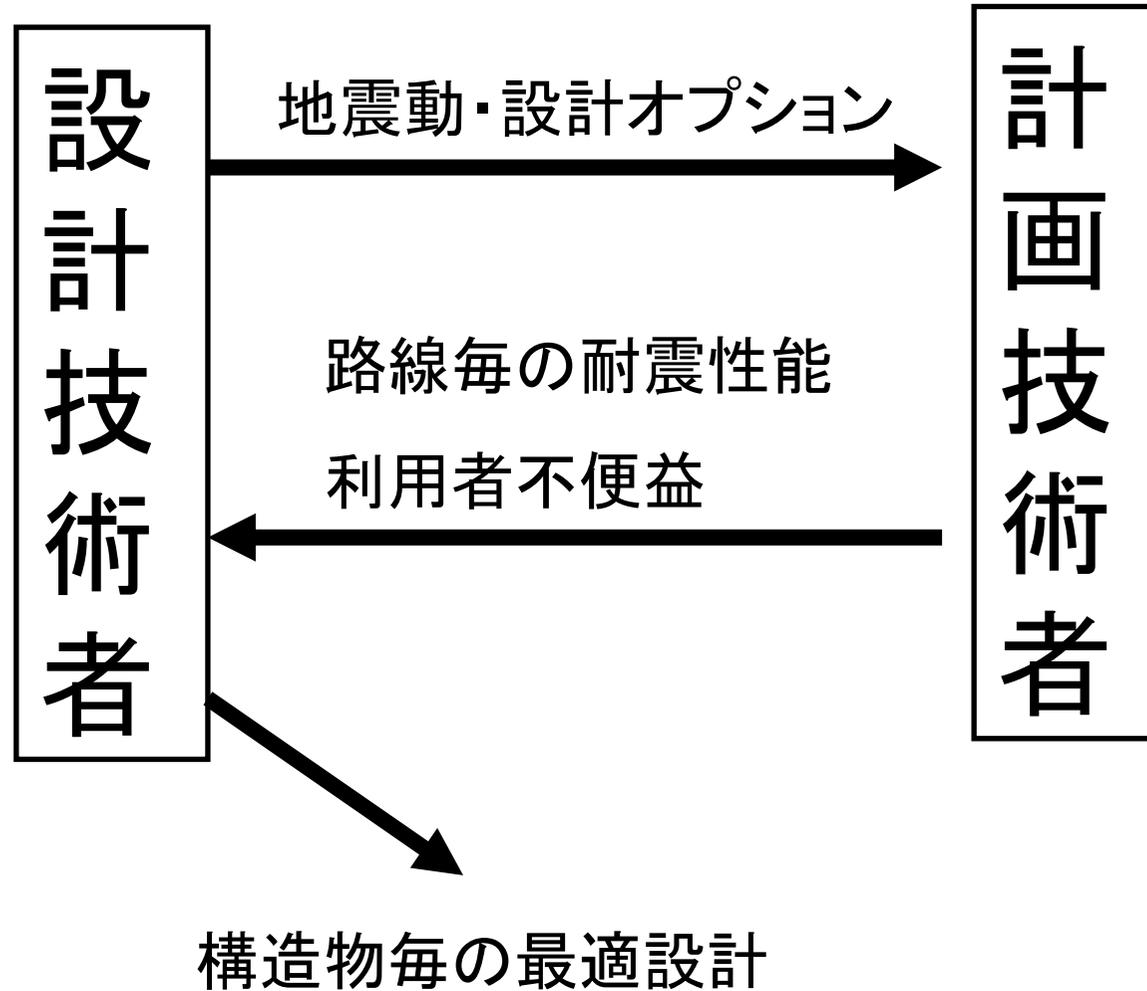
# 耐震化の効果

- 耐震化によるLCCの復旧費用軽減効果  
15.8億円
- 耐震化によるLCCの交通不便益軽減効果  
184億円
  - 総旅行時間効果が28億円(15%)
  - 非連結OD需要効果が136億円(74%)
  - トリップ・キャンセル数効果が20億円(11%)

# 間接被害算定に関する今後の課題

- 利用者費用のみを用いた方法ではなく、産業面への影響を考慮した方法が必要
  - このためには都市圏レベルの応用一般均衡モデルの構築等が必要となるが、より簡便な方法の検討も重要であろう。
- ネットワーク全体での純便益を最大化するような耐震化のあり方を検討し、その中から得られる各リンクの耐震性能に関する要求性能を所与とした設計問題を構成する必要がある。
  - 数理計画アプローチと可視化技術およびそれを援用した参加型アプローチの両側面からの議論が必要不可欠

# 設計と計画の共同作業



# 今後の予定

- 平成21年1月26日
  - ワークショップ
- 地震工学委員会と土木計画学委員会と合同で研究小委員会
  - 来年度？立ち上げ