

土木研究センター「地震に強い道路橋設計講習会」

# 大規模地震による橋梁の耐震性

平成19年3月

東京工業大学大学院土木工学専攻  
川島一彦

# 今日、お話しする内容

- 兵庫県南部地震以降、抜本的に変わってきた耐震設計の考え方
- 設計外力設定の常道に反する設計地震力の設定
- 橋梁技術者や耐震設計の専門家が当然と考えている耐震レベルと、国民の見方に乖離はないか？
- 動的解析を使いこなしていくための技術と経験の蓄積が重要
- まとめ

# 兵庫県南部地震以降、抜本的に変わってきた耐震設計の考え方

# 東京湾横断道路で初めて導入されたL2地震動

昭和57年

- L2地震動は兵庫県南部地震以降、土木学会の提言で初めて導入されたと誤解している技術者多いが、これは間違い。
- 東京湾横断道路(東京湾アクアライン)の耐震設計に初めてL1, L2という考え方が導入された。

# L1, L2に対するエピローグ

- 荒川直士土木研究所振動研究室長(当時)が、レベル1(L1), レベル2(L2)地震動と呼ぶことを提案
- 発端は、沈埋トンネルの可撓性継ぎ手の耐震性。次の関東地震が起こった際に、どの程度、可撓性継ぎ手から漏水が許せるか？
- 底面では4気圧にも達する。可撓性継ぎ手から水が噴き出したら、非常用ポンプでくみ出すことなど不可能。
- とすると、可撓性継ぎ手からの水の浸入は許容できない。
- たわいない議論からのスタート。しかし、震度法による思考停止状態から脱するためには大きな意義があった。

# 東京湾横断道路で初めて導入されたL2 地震動

昭和57年

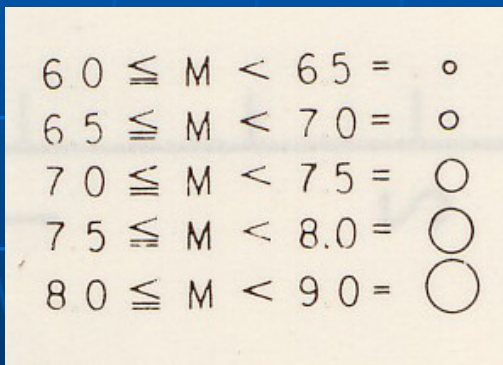
- 構造物の設計上の耐用年数内に1～2回生じることが期待される程度の地震動に対しては、構造物が本質的な機能を失うような損傷を受けてはならない。
- 当該地点にまれに発生するような大地震に対しては、構造部材に相当な損傷が生じることは受認するが、人命に係わるような構造物の崩壊は防止しなければならない。

## L2に対する性能目標

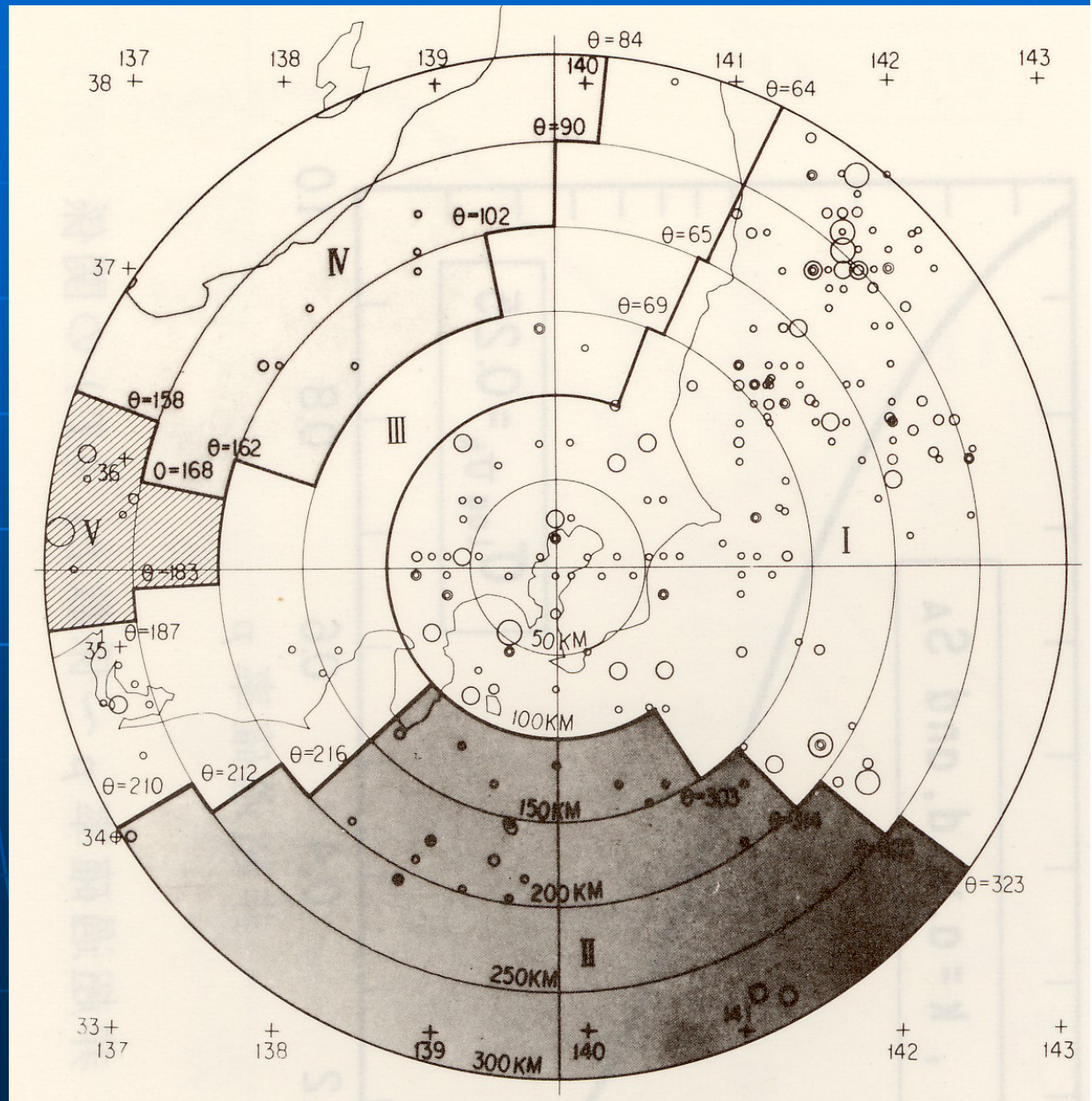
<del>当該部材が破壊した場合の影響</del> 補修・補強の 取り替えの難易	影響範囲が局所的であり、全体系の安定性は確保できる	影響が広範囲に及ぶか、もしくは全体系の安定性が減少する
比較的容易、もしくは取り替えが容易な構造	破壊してもよい。	損傷は許すが、破壊は防止する。
困難	損傷は許すが、破壊は防止する。	軽微な被害に限る。



# 東京湾周辺の確率応答スペクトルの解析



サブゾーン区域	凡例
I	
II	
III	
IV	
V	





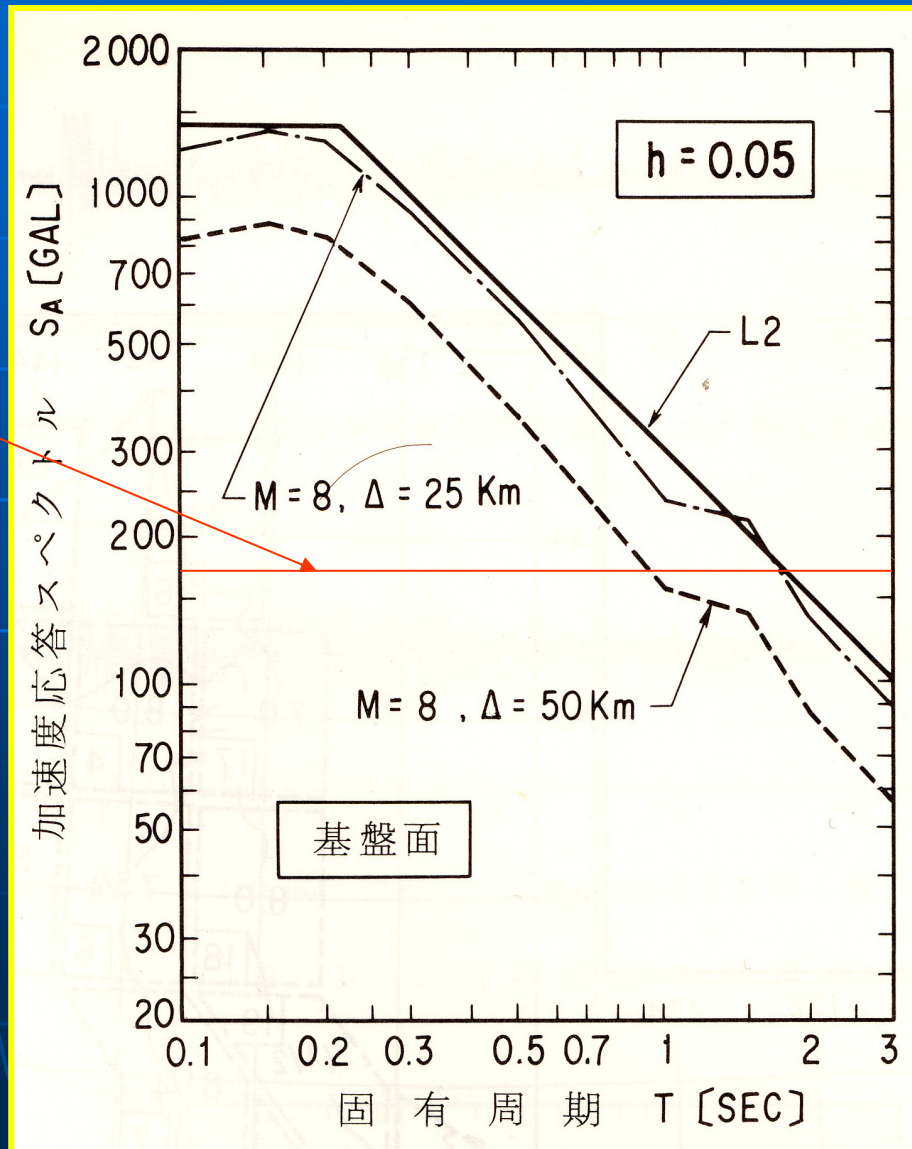
# 東京湾横断道路の設計地震動

## 土木構造物で最初のL2地震動の導入

昭和57年

再現期間475年

この当時の基盤地震動



# 斬新な提案であったが、東京湾アクアラインでは、L2地震動を有効に生かすことはなかなか困難であった

- 昭和57年当時には、橋脚のじん性の評価法もなかった。
- まして、シールドトンネルや人工島に至っては、……
- 結果的には、震度法で耐震設計しただけとさして変わらず
- 現在の目で、L2地震動に対する東京湾アクアラインの耐震性の検証が必要。三セクで作られたため、耐震性に責任を負っている機関さえ無くなってしまった。

# L2の実用化に道を開いた免震設計

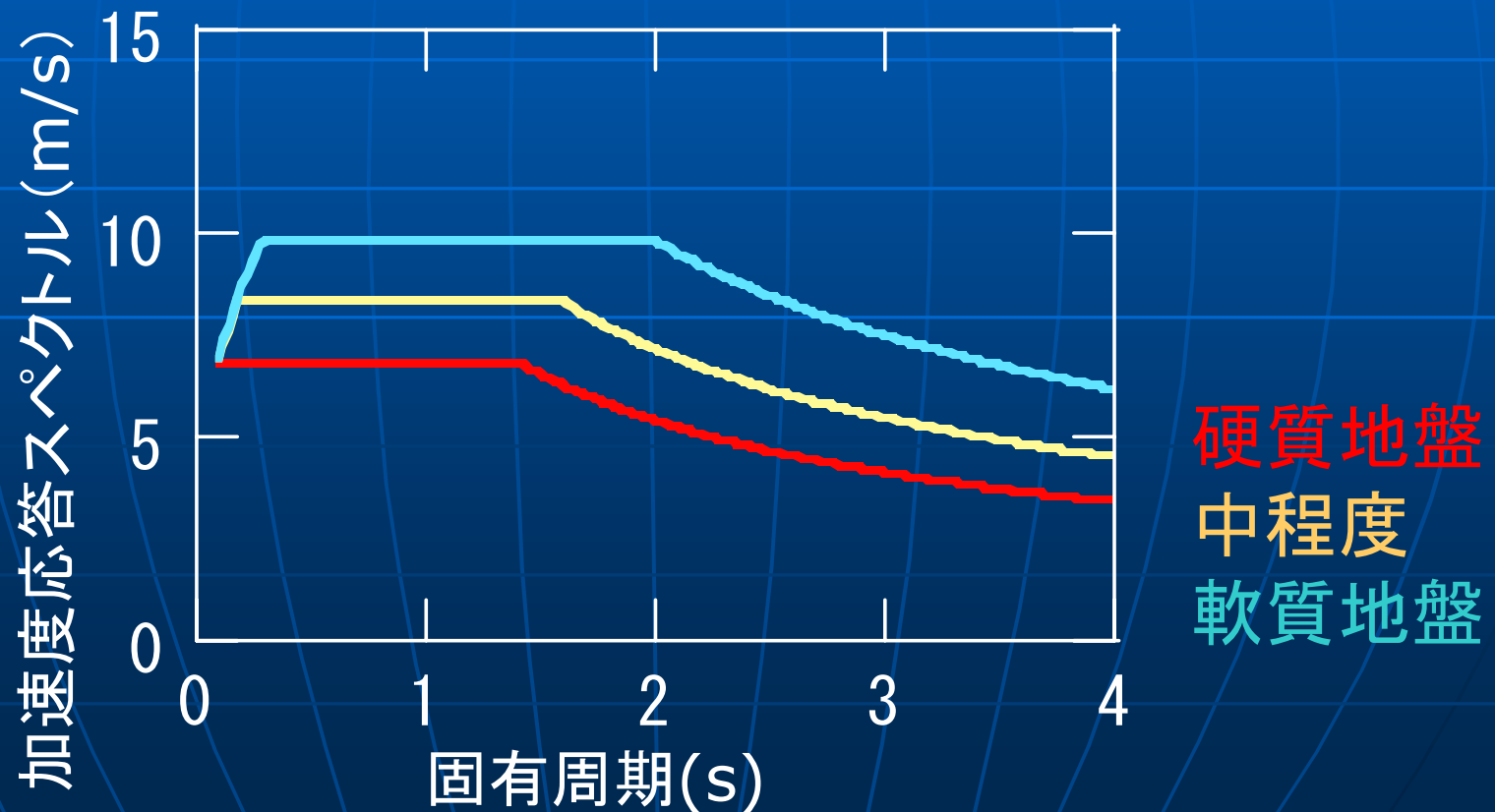
- 昭和63年(1988)道路橋の免震設計法ガイドライン(案)((財)国土開発技術研究センター)および道路橋の免震設計法マニュアル(案)(建設省土木研究所と民間47社の共同研究)
- 免震設計ではL2地震動が不可欠
- ようやく、橋脚の耐力、変形性能に関する技術も追いついてきた。
- 我が国で得られた394成分の強震記録に基づく加速度応答スペクトルから、L2地震動(現在のタイプ I 地震動)が開発され、使用され始めた。

# 初めてガイドライン(案)の形でL2地震動が 取り入れられた道路橋の免震設計法ガイドラ イン(案)

(財)国土開発技術研究センター

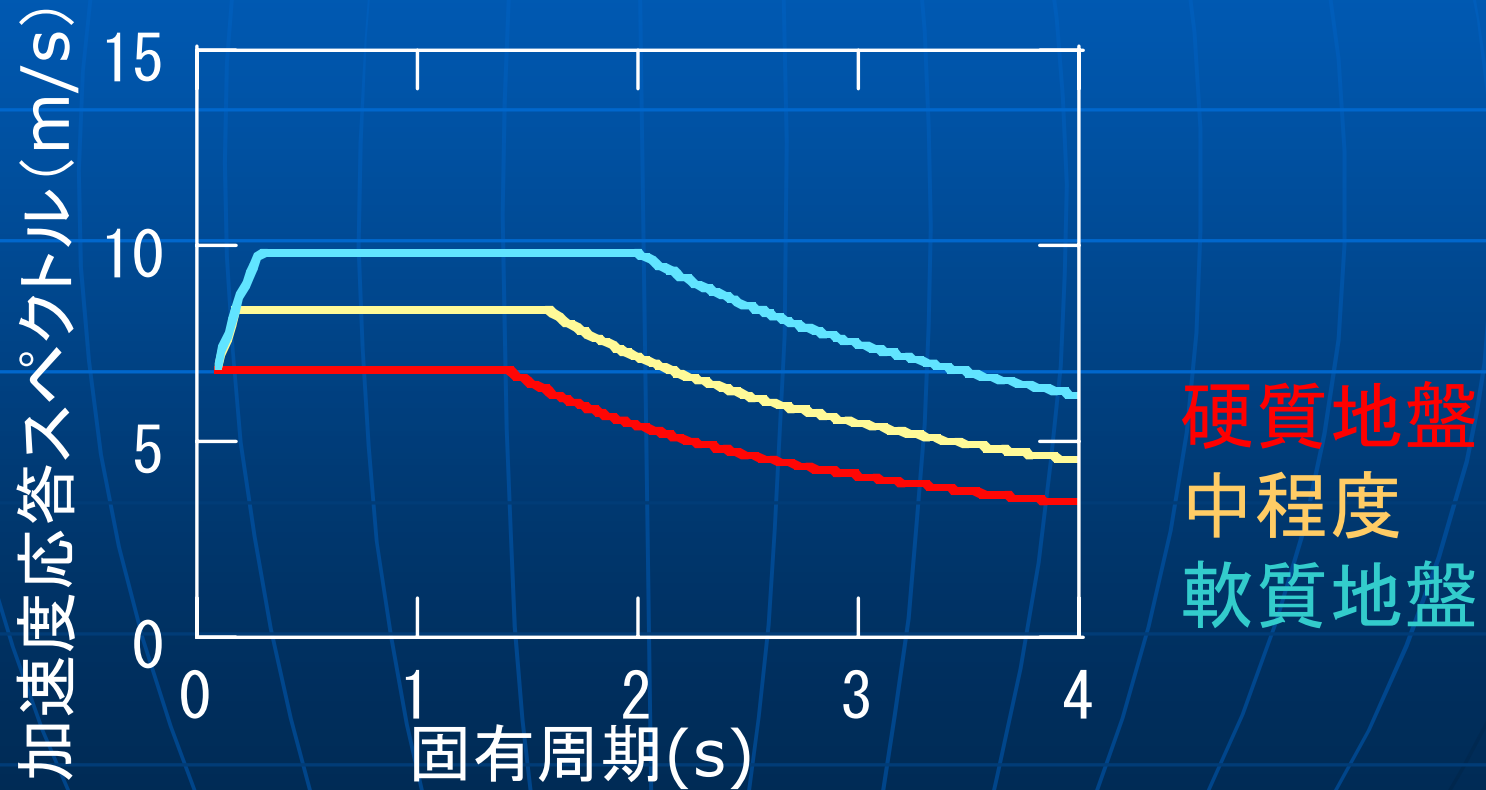
昭和63年

$$S_C = c_Z \cdot c_I \cdot c_D \cdot S_{C0}$$



# 国レベルの基準としては、平成2年道路橋示 方書に初めて導入された地震時保有耐力法

$$S_C = c_Z \cdot c_I \cdot c_D \cdot S_{C0}$$



# 土木構造物の耐震設計のターニングポイントとなった平成2年道路橋示方書

- 従来の震度法と応答を考慮した修正震度法をひとまとめにして、新たに震度法として再編
- RC橋脚を対象に、地震時保有推定耐力の照査法を導入
- 静的フレーム法(連続橋の慣性力の配分法)を導入
- 設計スペクトルに周波数領域で応答スペクトルをフィッティングさせた標準加速度波形(参考資料)
- ...



# 兵庫県南部地震で被災した道路橋の復旧に使用する仕様

- 兵庫県南部地震後、41日目にとりまとめ
- 地震時保有耐力法として、震度法と同格の耐震設計法に格上げ
- 兵庫県南部地震で実際に生じた地震動を復旧に使用する必要があった
- 平成2年道路橋示方書に取り入れたL2をタイプⅠと呼び、兵庫県南部地震による地震動(タイプⅡ)と区別
- タイプⅠとタイプⅡ地震動を包絡させた設計スペクトルを作るべきとの意見もあったが、両者は異なった特性を持つ地震動であり、一本化すべきでない判断

# 兵庫県南部地震で被災した道路橋の復旧 に使用する仕様(2)

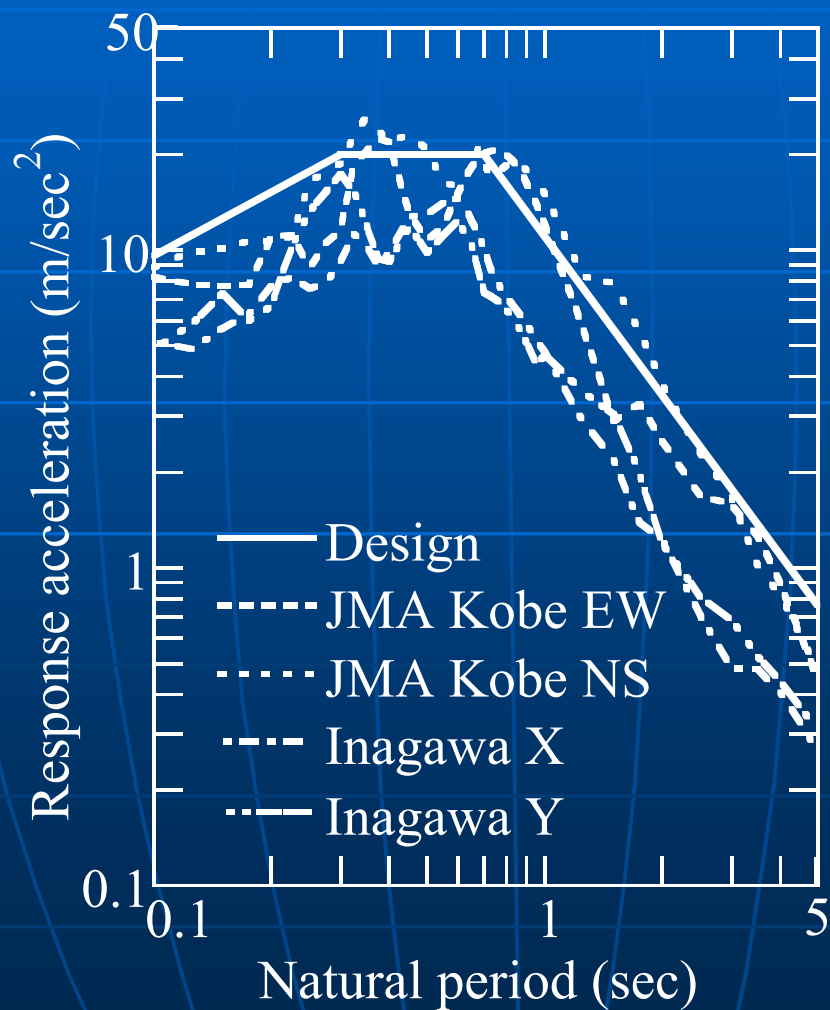
- タイプⅠとタイプⅡ地震動の特性(応答の繰り返し回数)の違いを橋脚の変形性能やせん断耐力、さらには液状化強度の評価にも考慮。世界最初の試み。

- 従来、重要度を外力評価に用いてきたが、重要であろうとなかろうと構造物に生じる応答は同じであることから、重要度を構造部材の変形性能評価に考慮するように変更。

# 兵庫県南部地震で被災した道路橋の復旧に使用する仕様(3)

- 星隈順一氏らによる横拘束されたコンクリートの構成式の新規導入。ここで、Manderの式を使うわけにはいかない。
- 橋の地震後の残留変位に関する規定を、残留変位応答スペクトルに関する研究に基づいて新設。世界最初の残留変位に対する規定。
- 免震設計法を免震設計法マニュアル(案)に基づいて、国レベルの基準として初めて導入
- 動的解析法の積極的導入

# 兵庫県南部地震による強震動スペクトルを 包含するように定められたタイプII地震動

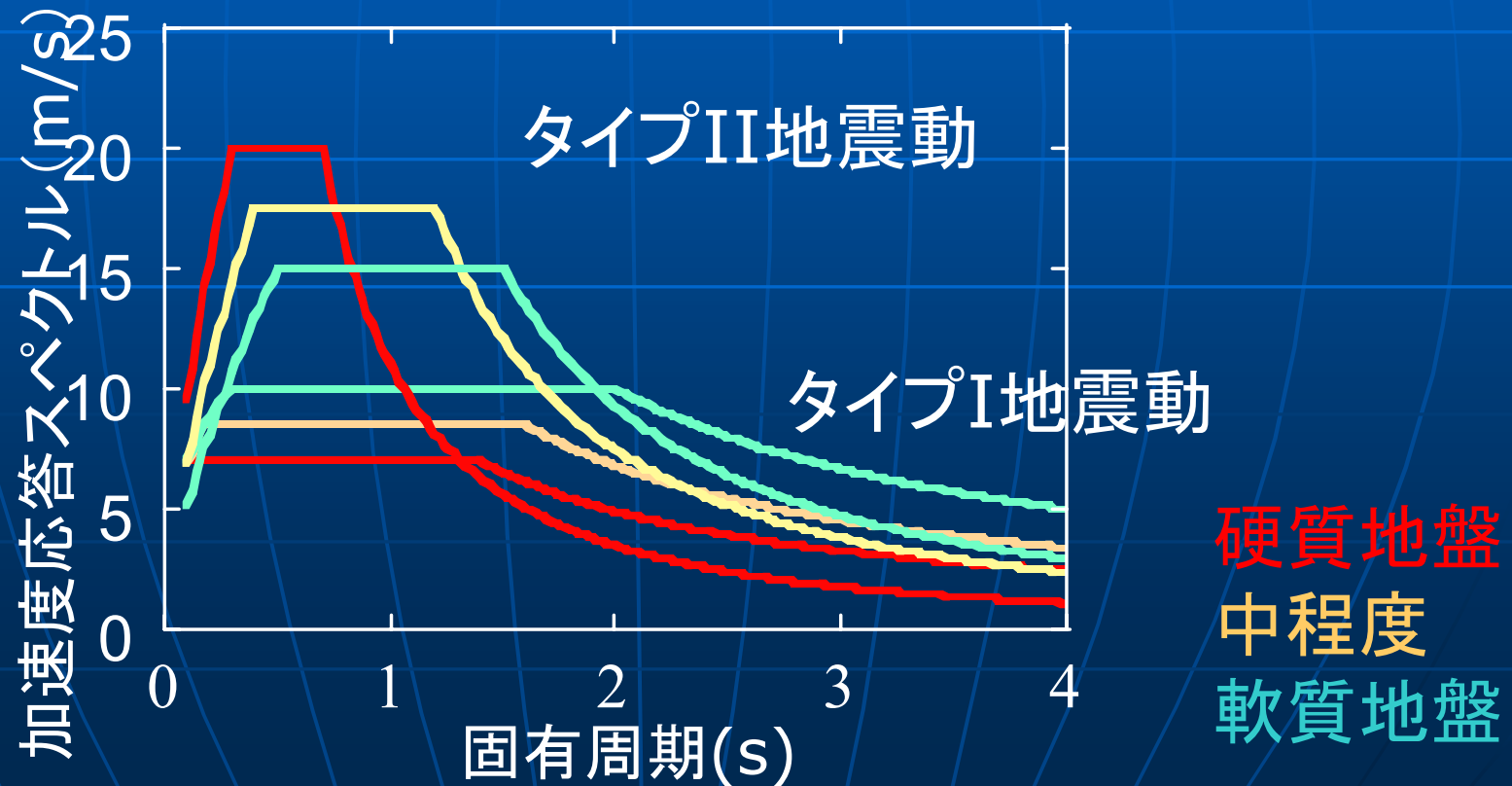


I種地盤

# 兵庫県南部地震で被災した橋梁の耐震設計 に用いる仕様、建設省(日本道路協会)、平成7年2月 道路橋示方書、建設省(日本道路協会)、平成8年

$$S = c_Z \cdot c_D \cdot S_0$$

重要度別補正係数は、  
変形性能評価で考慮する



# タイプI地震動とタイプII地震動

- タイプI地震動は平成2年に導入

- ✓関東地震の際の東京での地震動

- ✓関東地震の際にも、小田原等ではもっと地震動は強かった。わざとこれを隠して過小評価したのではないか？（兵庫県南部地震後の国会質疑）

- ✓プレート境界型大規模地震による中程度の距離

- タイプII地震動は平成7年復旧仕様に導入。

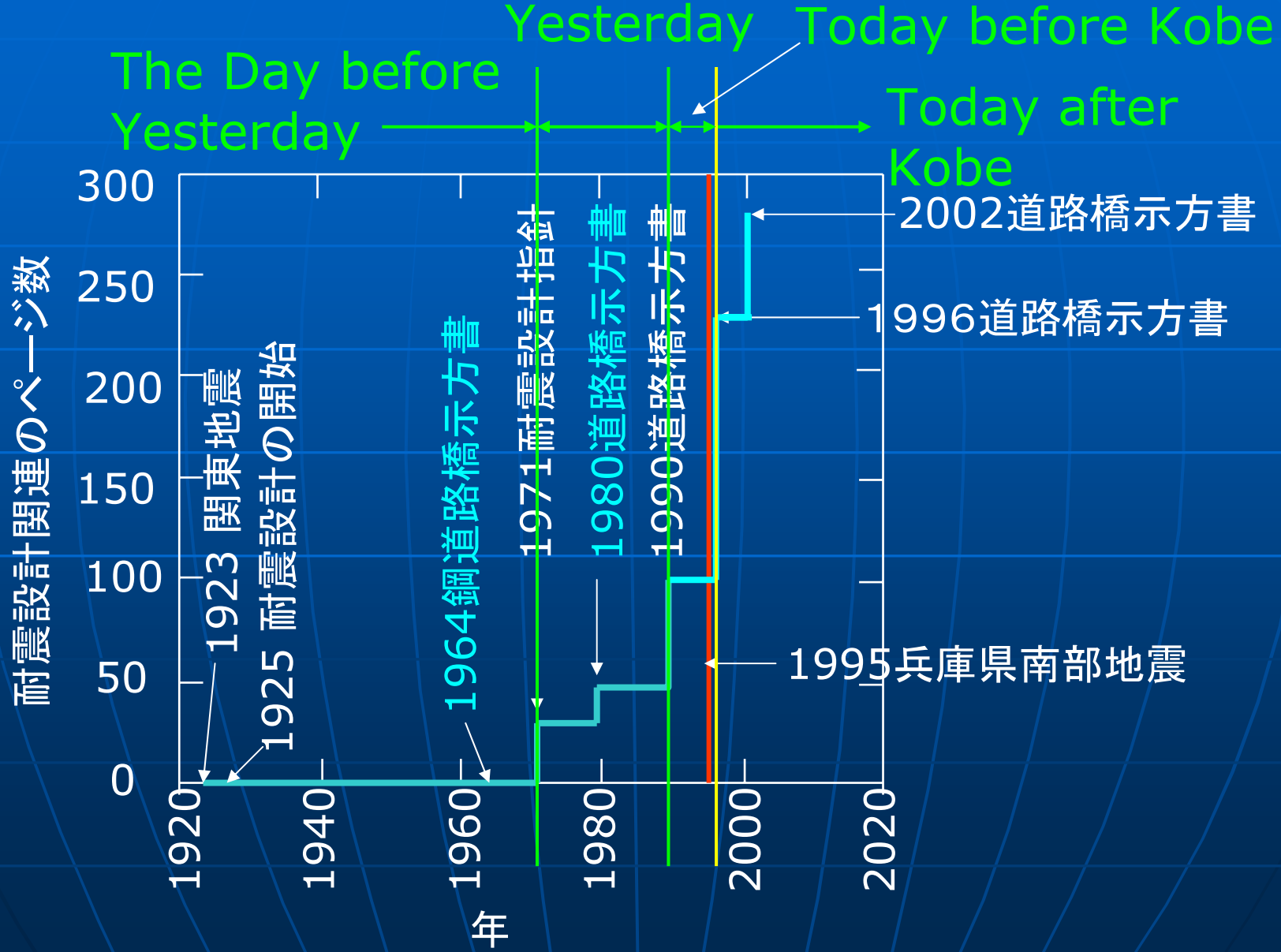
- タイプI地震動はキャッピングされているが、タイプII地震動はキャッピングされていない初めての地震動



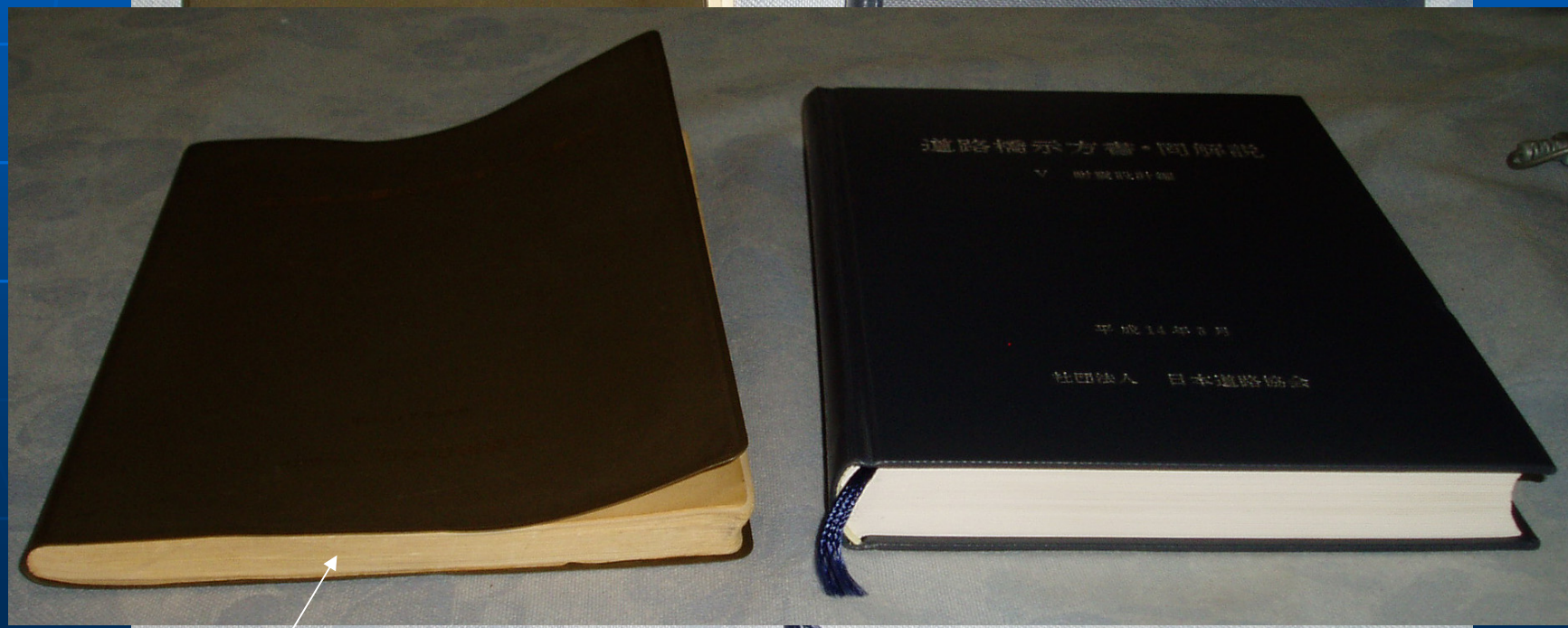
# 世界一流とはいいが、歴史の浅い耐震技術

大正12年	関東地震	
大正14年	道路構造に関する細則案（震度法の採用）	
昭和39年	鋼道路橋設計示方書	2頁
	$k_h=0.2$ 、 $k_v=0.1$	
昭和39年	新潟地震	
昭和47年	道路橋耐震設計指針	30頁
	初めての独立した耐震規定 修正震度法、落橋防止構造、液状化判定法	
昭和55年	道路橋示方書・V耐震設計編	50頁
	FL法による液状化判定法の導入	
平成2年	道路橋示方書・V耐震設計編	100頁
	地震時保有耐力照査法（L2地震動）、連続橋としての 地震力分配、動的応答解析に用いる標準スペクトル	
平成7年	兵庫県南部地震	
平成8年	道路橋示方書・V耐震設計編	227頁
	地震時保有耐力法、タイプI、II地震動、橋脚のじん 性、支承の耐震設計、鋼製橋脚の耐震設計	
平成14年	道路橋示方書・V耐震設計編	280頁
	性能照査型設計、H8道示のポリッシュアップ	

# 我が国の橋梁の耐震基準の歴史

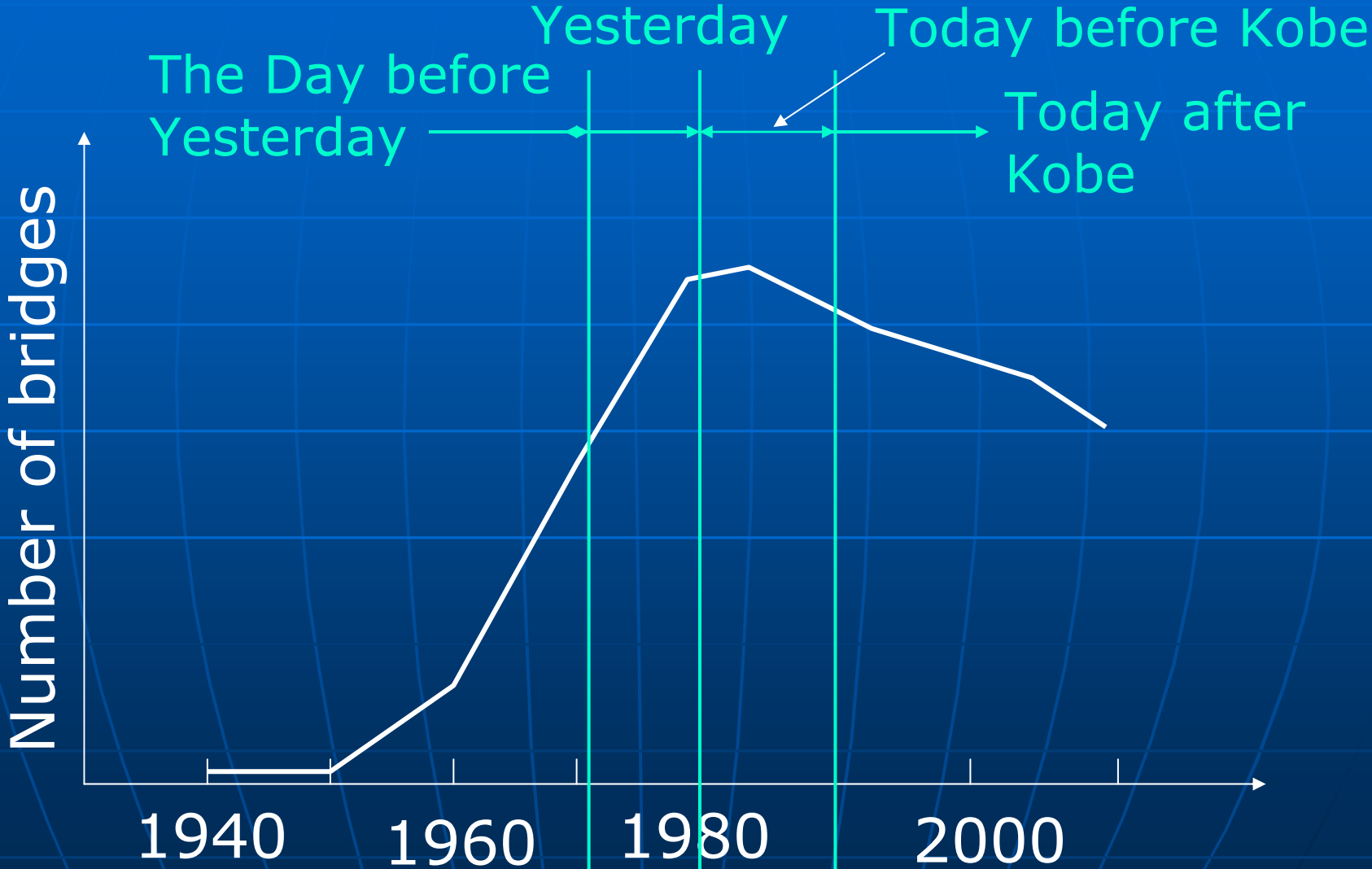


# 1971年道路橋耐震設計指針と2002年道路橋示方書



約1/2は参考資料

# 都内および周辺に存在する橋梁の数は？



# 兵庫県南部地震以降の耐震設計の基本的考え方

- 従来、設計地震力は低く抑え、許容耐力を厳しく評価することにより、構造設計のバランスを保ってきた。震度法がその典型。
- “外力が小さく”、“耐力は低く”という歪んだ設計体型では、外力や耐力に新しい研究成果がでてきても、そのままの形では取り入れられない。震災経験のある構造物の耐震設計はできても、震災経験のない構造物の耐震設計はできない。また、技術の進歩を阻害する。
- “外力”、“計算法”、“耐力”がそれぞれより真実に近い設計体型を目指すべき
- 兵庫県南部地震で実際に生じた外力を復旧に取り入れるべき



# 兵庫県南部地震の教訓は？

## ●耐震設計のシステムに問題はなかったか？

- ✓ イマジネーションを奪ってきた震度法体系
- ✓ 許容応力度設計体系からの脱皮が遅れた

## ●なぜ、こうした被害が発生する可能性に気が付かなかったか？

- ✓ 百聞は一見にしかず。逆に言うと、見ていない現象は信じられない
- ✓ 経験したことのない現象に対する洞察力不足

## ●今後の問題点は？

- ✓ 機械的に設計するのではなく、耐震性能目標をきちんと考えながら設計する体系にする必要がある



# 設計外力設定の常道に反する設計地 震力の設定

# 現在の道路橋示方書に考慮されていない地震動

- タイプI地震動(M8クラス、中距離)、タイプII地震動(M7クラス、近傍)は考慮されている。
- M8クラスの断層近傍地震動が考慮されていない。
  - ✓タイプI地震動、タイプII地震動を上回る地震動はあり得る。
  - ✓強震動の発生メカニズムや、将来に地震を発生させる断層等の不確定性について、現在の知見では明らかではない。
  - ✓こうした地震動を考慮すべき箇所はある程度限られる。個別対応か？

# 設計外力設定の常道に反する設計地震力の設定

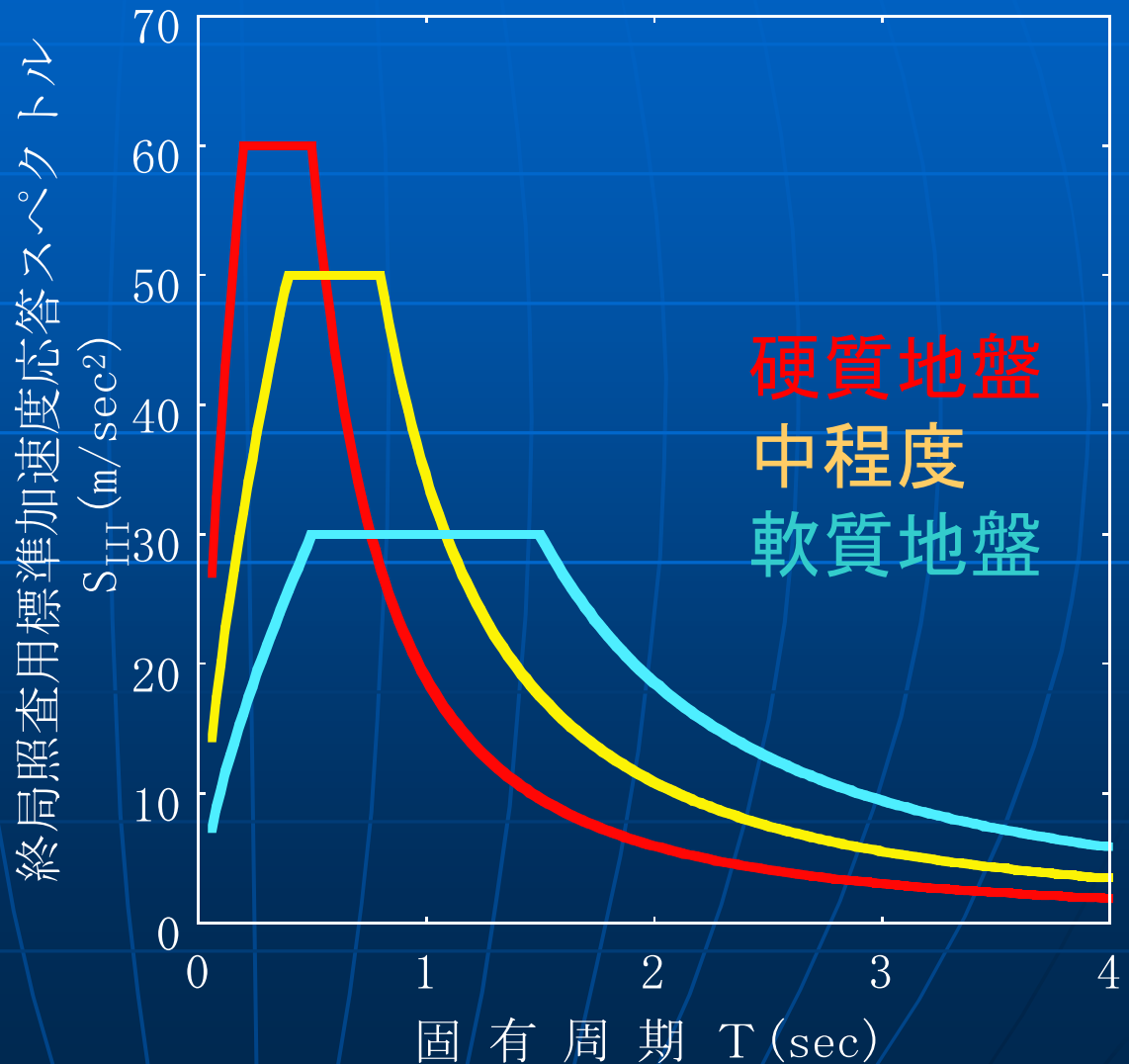
- 設計外力は、その特性、不確実性、与える影響等に基づいて定められる。外力の不確実性が大きければ、外力を大きく設定するのが、工学的常識
- 設計地震力は、過去に地震被害を受けるたびに大きくなってきた。
  - ✓たまたみにしか生じない
  - ✓設計に対して影響が大きい
  - ✓よく分かっていないから
- 構造的細工を労するよりも、地震力を大きく設定しておけば、被害を防止できた例は多い。

# なぜ、余裕のない設計地震力が 使用され続けているか？

- 設計地震力を増加させると、既存不適格インフラが多数存在することが対外的にあからさまになってしまう。
- まれにしか起こらない地震に対する投資を最小にしたい
- 投資と効率のぎりぎりのせめぎ合いの中で、最善の解を求めたいという構造技術者の願望
- 結局、既往最大の流れに従っている

# 外力設定の常識から見れば、どの程度の地震力を見込むべきか？

落橋防止構造設計ガイドライン(案)、  
土木研究センター



橋梁技術者や耐震設計の専門家が当然と  
考えている耐震レベルと、国民の見方に乖  
離はないか？



# “安全・安心”に対する社会の見方が変わってきている

- 社会の成熟可とともに、安全、安心に対する国民の関心は強くなってきている。
- 兵庫県南部地震を経験した現在、これと同程度の地震による激甚な都市震災（たとえば、東京直下型地震）を国民は受け入れるか？
- 被害がある度に、国民の非難の矢面に耐震工学専攻の研究者、技術者が立たされなければならないのはおかしいのでは？
- 橋梁や耐震の専門家の常識と国民の要求に乖離が出てきているのではないか？

# 耐震性能目標は現在のように弱腰で、単純なものでもいいのか？

- “大地震に対して絶対に被害を受けない”といった程度の目標を掲げても、たまには取りこぼしが出るのが技術の現状。“中小地震に対しては機能保持、大規模地震に対しては崩壊防止”といった弱腰な設計目標で、果たして、本当に崩壊を防止できるのか？
- 性能目標はこのような単純なものか？現実にはもっといろいろな要求があるのではないか？たとえば、
  - ✓地震直後に救急車等の軽量や車両は直ちに通したい。
  - ✓たとえ速度規制をかけても、地震後2日以内には、緊急資機材や食料、薬品を積載した重量車を通したい。

# 国民に対する橋梁の耐震性能目標に関するアンケート調査

- 大地震時の際に橋梁に求められる耐震性を国民はどのように考えているか？大地震後にこそ、避難や復旧のために橋梁が必要ではないか？
- 国民は地震後に何日以内に橋梁被害を復旧してほしいと考えているか？
- 耐震性を向上させるためにはコスト増が必要であるが、国民はこれを受け入れるか？どの程度のコストアップであれば大地震にも被害を受けない橋梁（ダメージフリー橋）を建設できるのか、国民はこれを受け入れるのか？
- 国民は“大地震時には崩壊防止”という性能目標を知っているか、また、これを受け入れるか？

# 国民に対する橋梁の耐震性能目標に関するアンケート調査

- 東京のショッピングモールを歩行している市民や店のオーナーや関係者に直接ヒアリング（東京都）
- 郵送と電子メールによりアンケート調査（東京都以外の地域）
- 10代～80代の合計862人の国民に対する調査を実施

# 通行人を呼び止めたり、店に入って意見を聞くにはかなり勇気が必要



すいません。東工大の学生なのですが、修論で橋の耐震性を勉強しているんです。



地震の時に、みなさんが使われている橋はどの程度の被害があってもやむを得ないとお考えですか？



# 建造物の耐震性を国民に説明することは難しい！

国民と技術者間の共通言語の不足

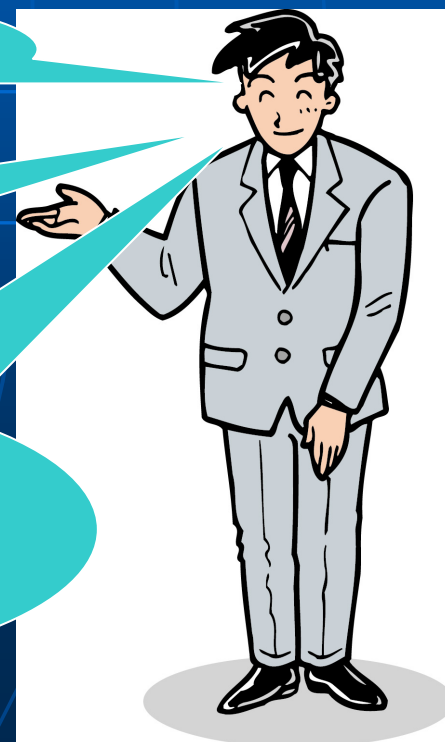


橋梁は地震に対して安全なの？

設計地震力は・・・

残留変位は……

じん性率は……



# 国民に対する質問

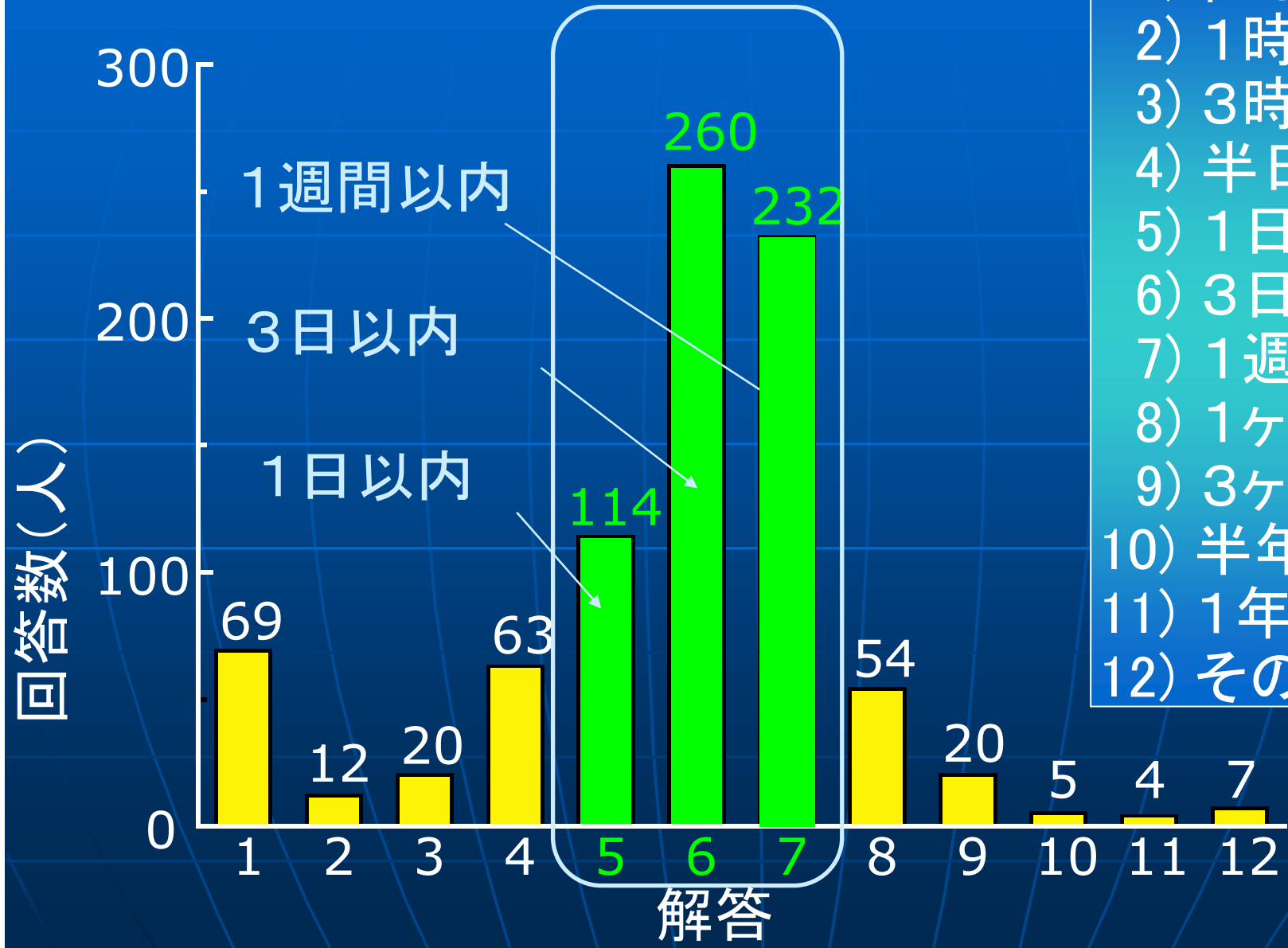
もし、1995年兵庫県南部地震と同様に、広域に激甚な災害が発生した場合に、あなたは;

- 地震後、どの程度の期間に橋梁を復旧してほしいと考えていますか？
- ダメージフリー橋を建設するためには建設費が増大しますが、現状に比較してどの程度であれば、あなたは建設費増を受け入れることができますか？
- あなたは、現在の橋梁の耐震性能目標をどのように思いますか？



# 地震後何日以内に橋梁は復旧すべきか？

- 1) 直ちに
- 2) 1時間以内
- 3) 3時間以内
- 4) 半日以内
- 5) 1日以内
- 6) 3日以内
- 7) 1週間以内
- 8) 1ヶ月以内
- 9) 3ヶ月以内
- 10) 半年以内
- 11) 1年以内
- 12) その他

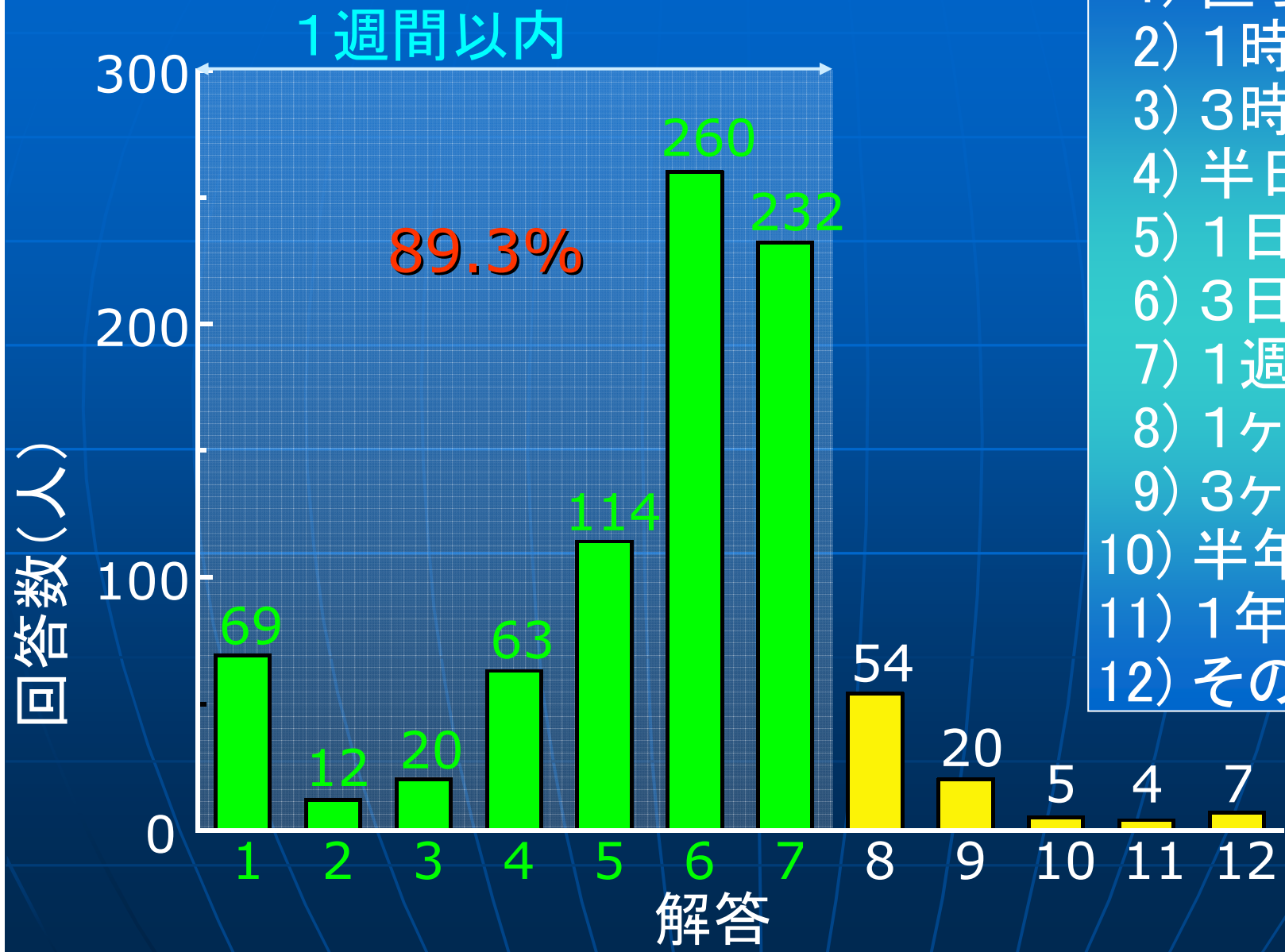


# 地震後何日以内に復旧してほしいかは、 いい加減に答えたのではなく、いろいろ考 えて答えてくれた

- 地震になると、電気こないんだろ。うち、何も買ってないぜ。どうするんだ？ま、コンビニがあるけど、コンビニ大丈夫か？1週間も食べ物なかったらやばいぜ。
- 食べ物どうするのさ？みんな送られてくるんだろ？買い置きなんかないから。
- うち、備蓄なんかしていないし。2, 3日なら何とかなるけど。
- .....

# 地震後何日以内に橋梁は復旧すべきか？

- 1) 直ちに
- 2) 1時間以内
- 3) 3時間以内
- 4) 半日以内
- 5) 1日以内
- 6) 3日以内
- 7) 1週間以内
- 8) 1ヶ月以内
- 9) 3ヶ月以内
- 10) 半年以内
- 11) 1年以内
- 12) その他



# 地震後、1週間以内に橋梁を復旧可能か？

兵庫県南部地震で被災した15橋を調査

●武庫川橋

●十三大橋

●浜手大橋

●.....

# 地震後、1週間以内に橋梁を復旧可能か？

## 武庫川橋

橋長431m  
11径間橋梁



- 橋脚のかぶりコンクリートが剥落し、主鉄筋が局部座屈
- 支承が破断し、桁が橋軸直角方向に80cm移動

# 武庫川橋の復旧

	1月	2月	3月	4月
準備	1月17日 ○ —	半月		
アクセス道路 建設		—	1ヶ月	
下部構造の復旧		—		1.8ヶ月
上部構造の復旧		—		2ヶ月
確認検査			—	
供用再開				4月17日 ○

## “2日で復旧”と言うのはたやすいが・・・

- 部材の取り替えや復旧が必要な程度の被害が生じれば、部材や資材の確保が困難で、常時に予想されるよりも遙かに長い復旧期間を要する。
- マイナーな部材で、被災してもすぐ直ると言われている支承でさえ、いったん被災すると、代替部材が入手できず、さらに溶接やコンクリート充填で復旧しようとしても足場や作業員の確保の困難性から、復旧に2, 3ヶ月を要することもしばしば。
- 川や湖、海の中の橋では、アクセス道路の建設に時間を要する。
- 結局、橋面をほうきで掃いて通せる程度でなければ、2日では復旧できない。



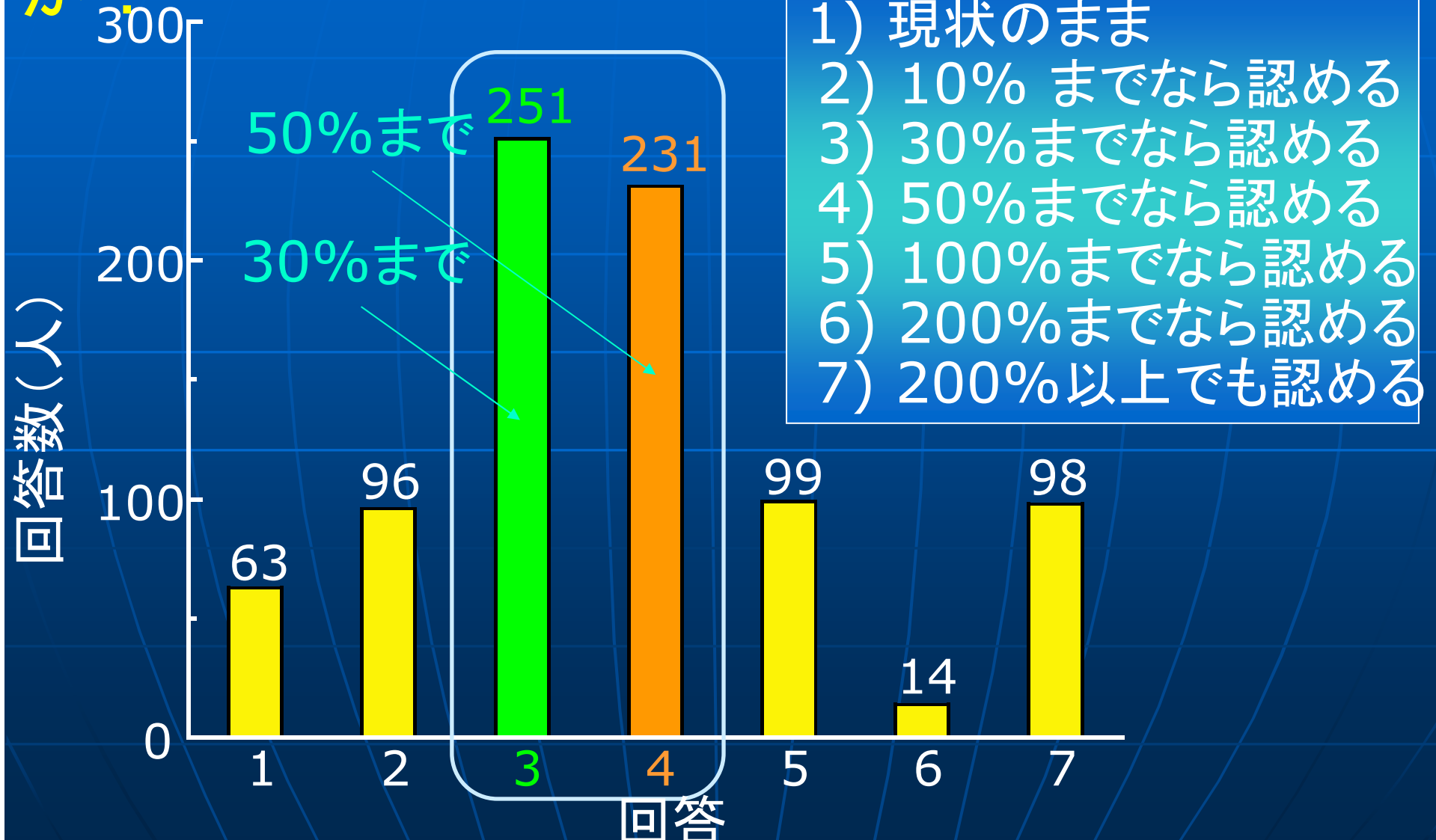
# ダメージフリー橋の建設は不可能か？

- 可能である。しかし、2つの制約がある。
  - ✓技術的困難性
  - ✓経済的制約
- もし、経済的制約を取り除き、かつ、技術的困難性から以下の2つの条件の橋を除外すれば、ダメージフリー橋を建設することは可能である。
  - ✓特殊な形式、応答の橋
  - ✓液状化、流動化、斜面崩壊等、地盤破壊が起こる地点に建設される橋

# 特殊な橋を除外すれば、ダメージフリー橋建設の可能性は？

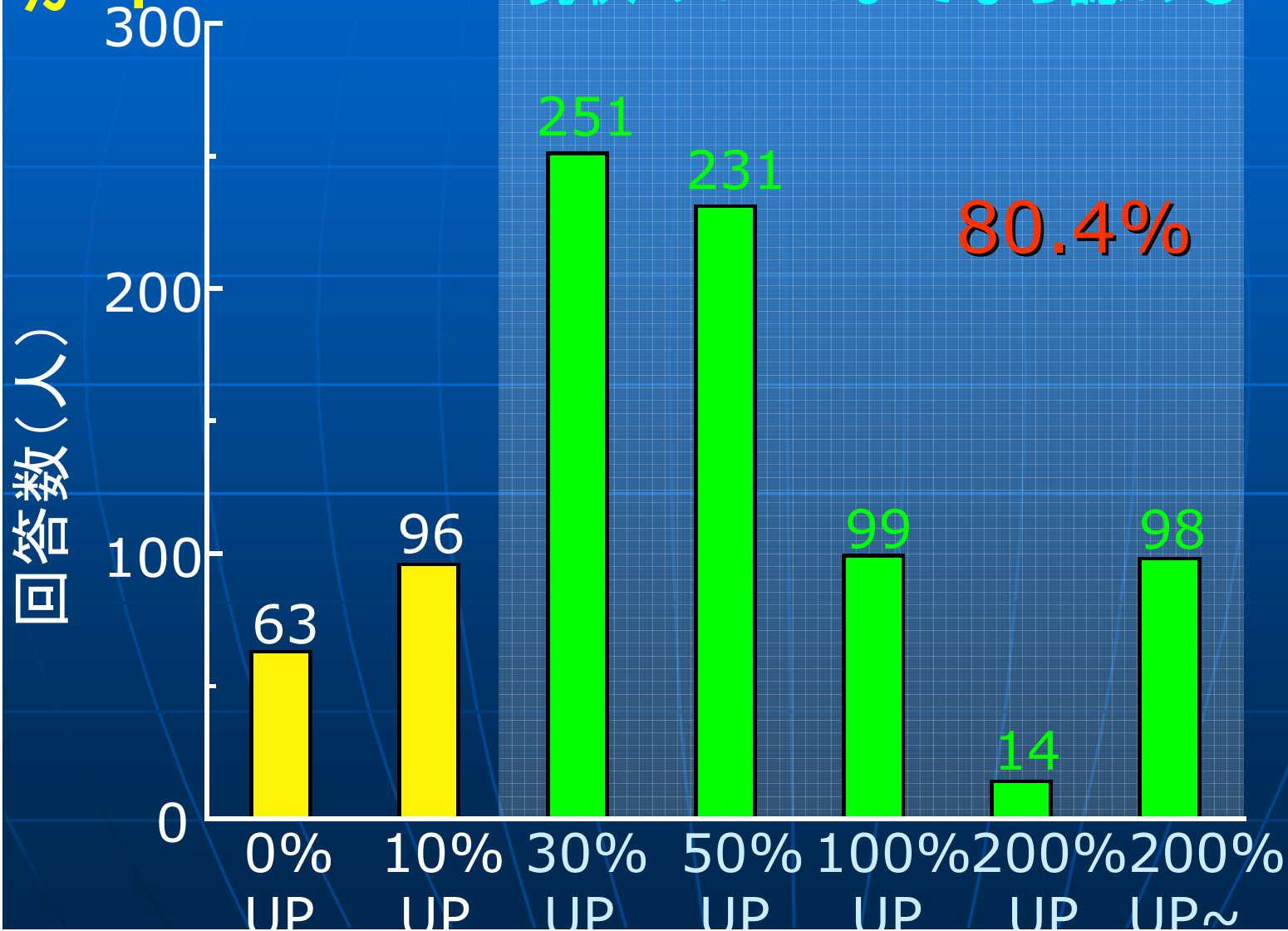
- どの程度のコスト増加を国民が認めるか？
- どの程度のコスト増が必要か？

# ダメージフリー橋建設のためであれば、現状に比較してどの程度のコスト増を国民は認めるか？



ダメージフリー橋建設のためであれば、現状に比較してどの程度のコスト増を国民は認めるか？

現状の30%までなら認める



# 国民はいい加減にどれだけのコストアップなら認めると答えたわけではない

●橋って税金で造るんでしょ。うちはぎりぎりです。税金が上がったらやっつけられないわ。でも、橋が壊れて生活ができないのも。10%位の税金だったらなんとかなるから、じょうぶい橋を造ってちょうだい。



●先生、これはね、税金の問題じゃないですよ！このあたりは道路事情が悪くて本当に大地震の時に心配なんです。200%以上払ってもいいから、大地震でも壊れない橋を造ってくださいよ。



●....

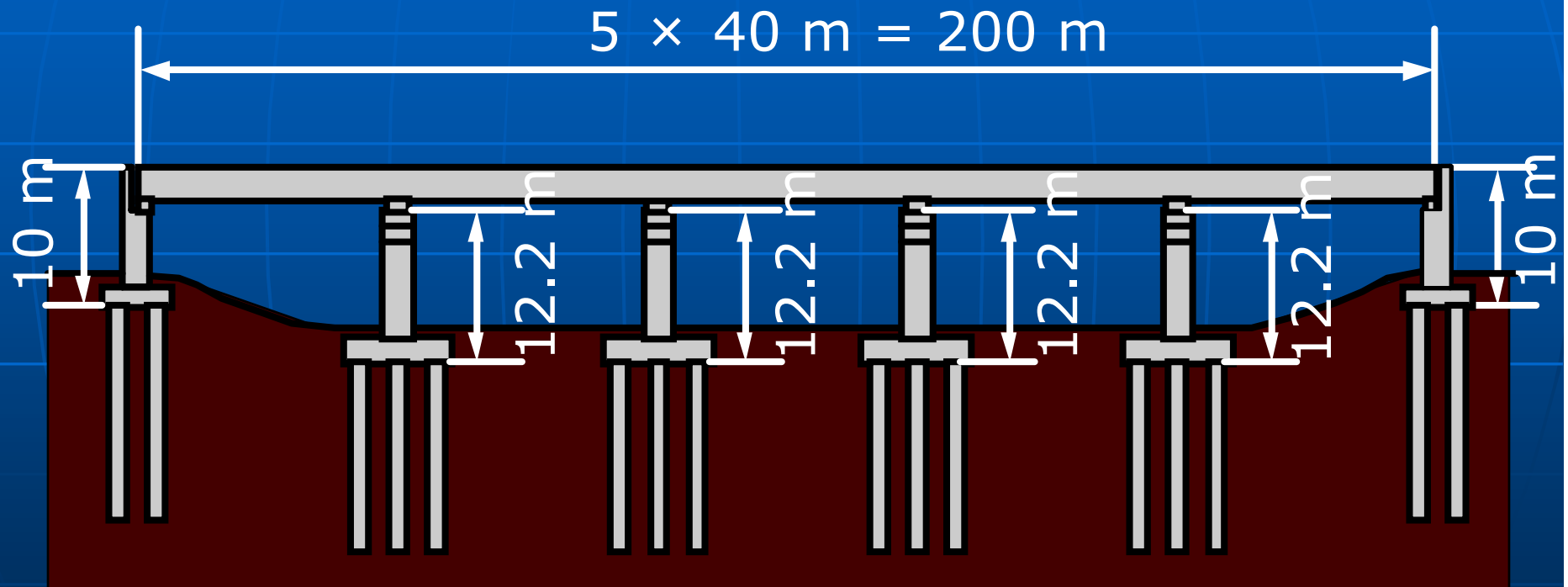
# ダメージフリー橋を建設するために、現状に比較してどれだけのコストアップが必要か？

- 現状よりも大きな設計地震力で橋を設計し、通常の方法でコストを試算。
- 現状よりも大きな設計地震力に対して現在の耐震設計法がそのまま適用できないところもあるかもしれないが、細部は今後詰めることとし、現状の設計法でその通り設計してみる。

# 試設計の対象とする橋

5径間連続橋

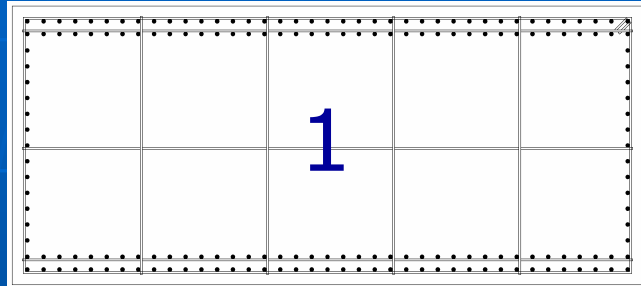
平成12年道路橋示方書で耐震設計



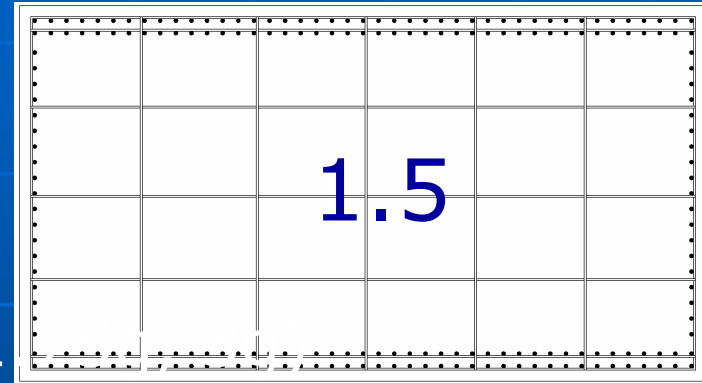


# 橋脚断面

1.75 g 5.0 × 2.2m



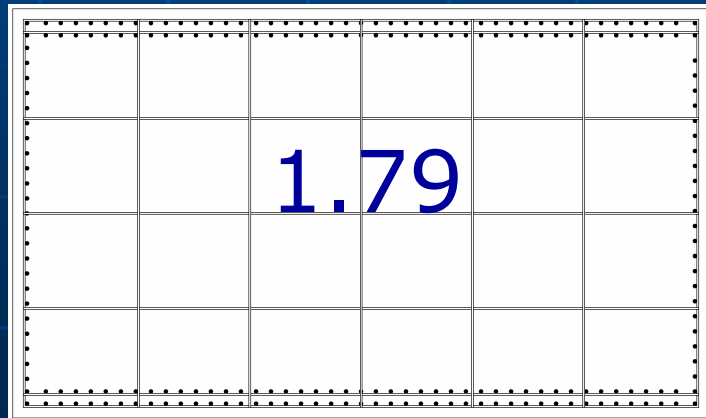
3 g 5.5 × 3.0m



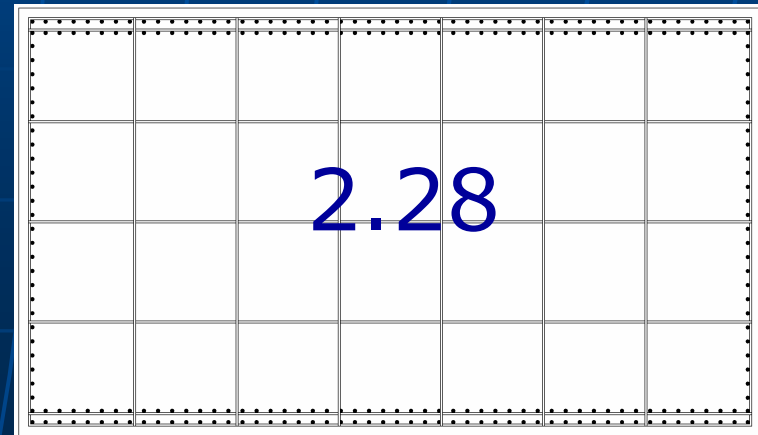
帯鉄筋 : D16 at 150 mm 間隔 (1  
D19 at 150 mm 間隔 (4g, 5g)

軸方向鉄筋 : D32 を125 mm 間隔

4 g 5.8 × 3.4m

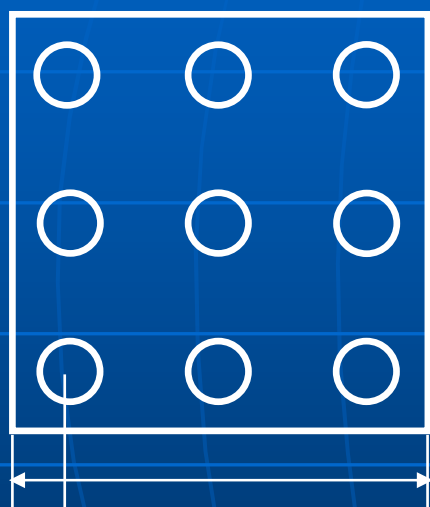


5 g 6.6 × 3.8m



# 杭基礎断面

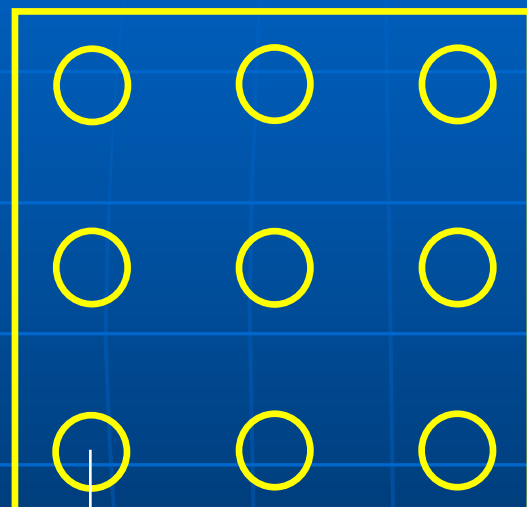
1.75g · 2g → 3g · 4g → 5g



8.50 m

$\phi$  1200

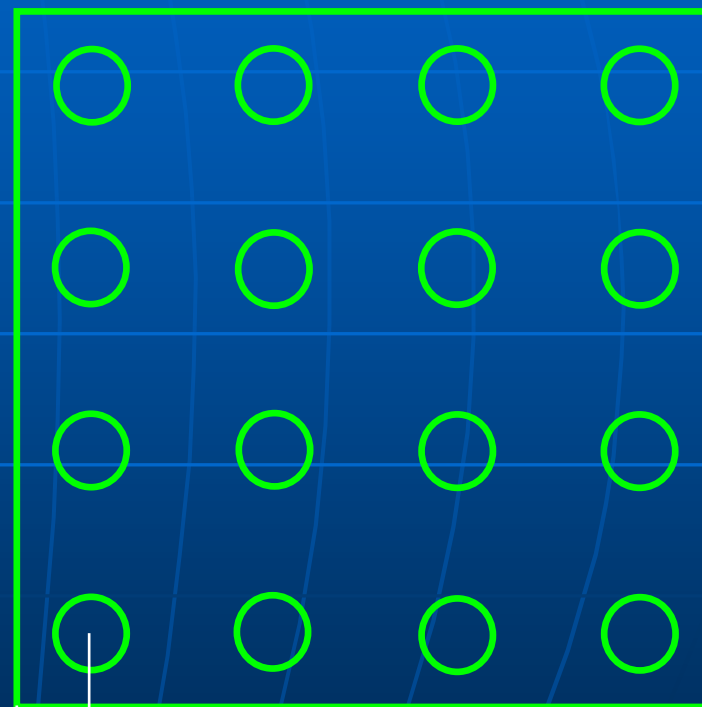
n = 9



10.50 m

$\phi$  1500

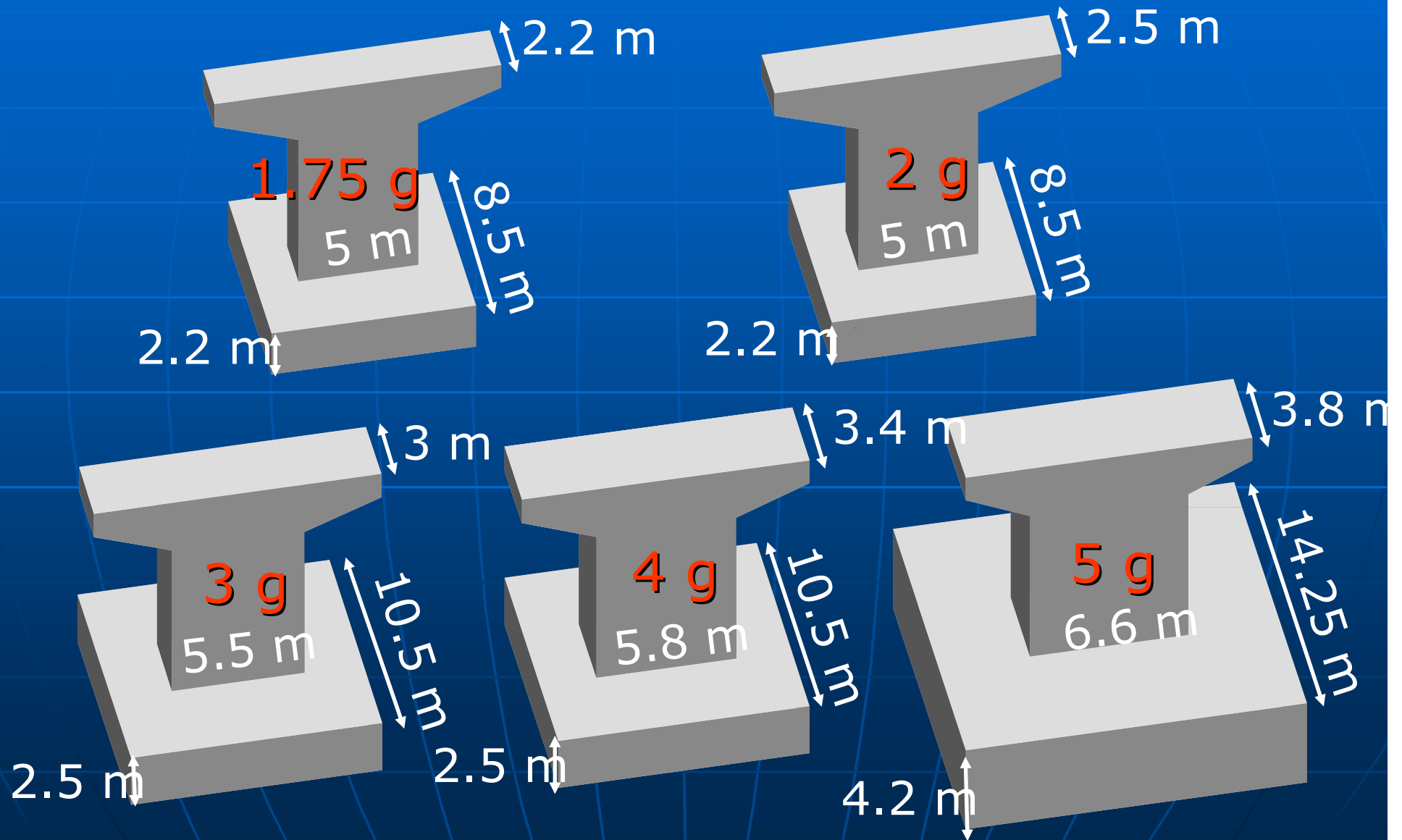
n = 9



14.25 m

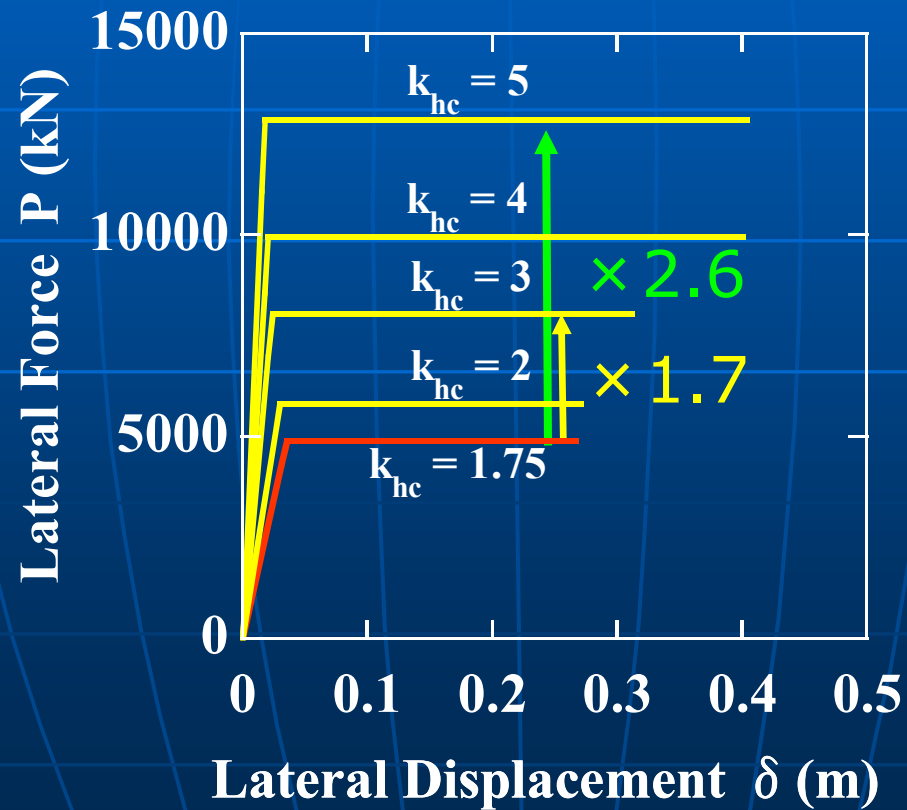
$\phi$  1500 : n = 16

# 設計スペクトルが増大すると、...



# 橋脚の曲げ耐力はどれだけ増加するか？

橋軸方向



# 建設費の評価

$$C(S) = C_D + C_S(S)$$



現状に対するコストの増加率

下部構造

$$\alpha \equiv \frac{C_S(S)}{C_S(S = 1.75g)}$$

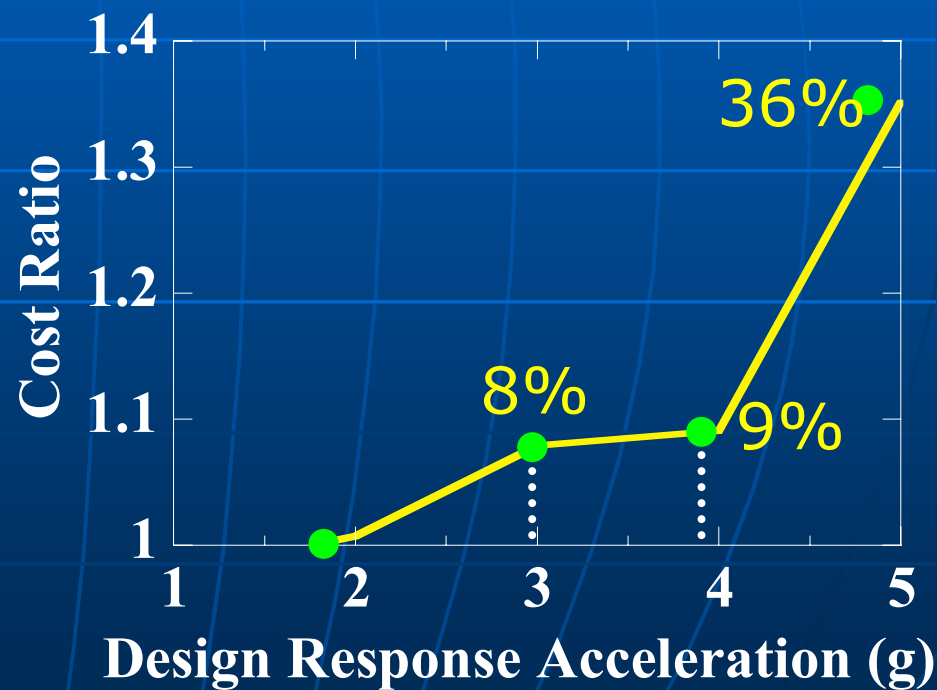
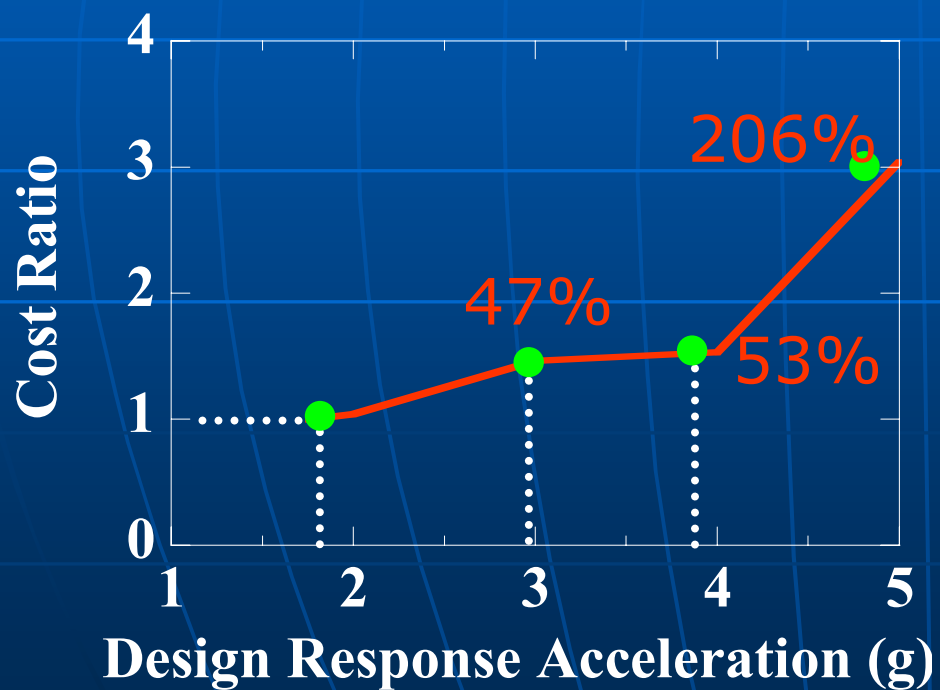
橋全体

$$\alpha \equiv \frac{C(S)}{C(S = 1.75g)}$$

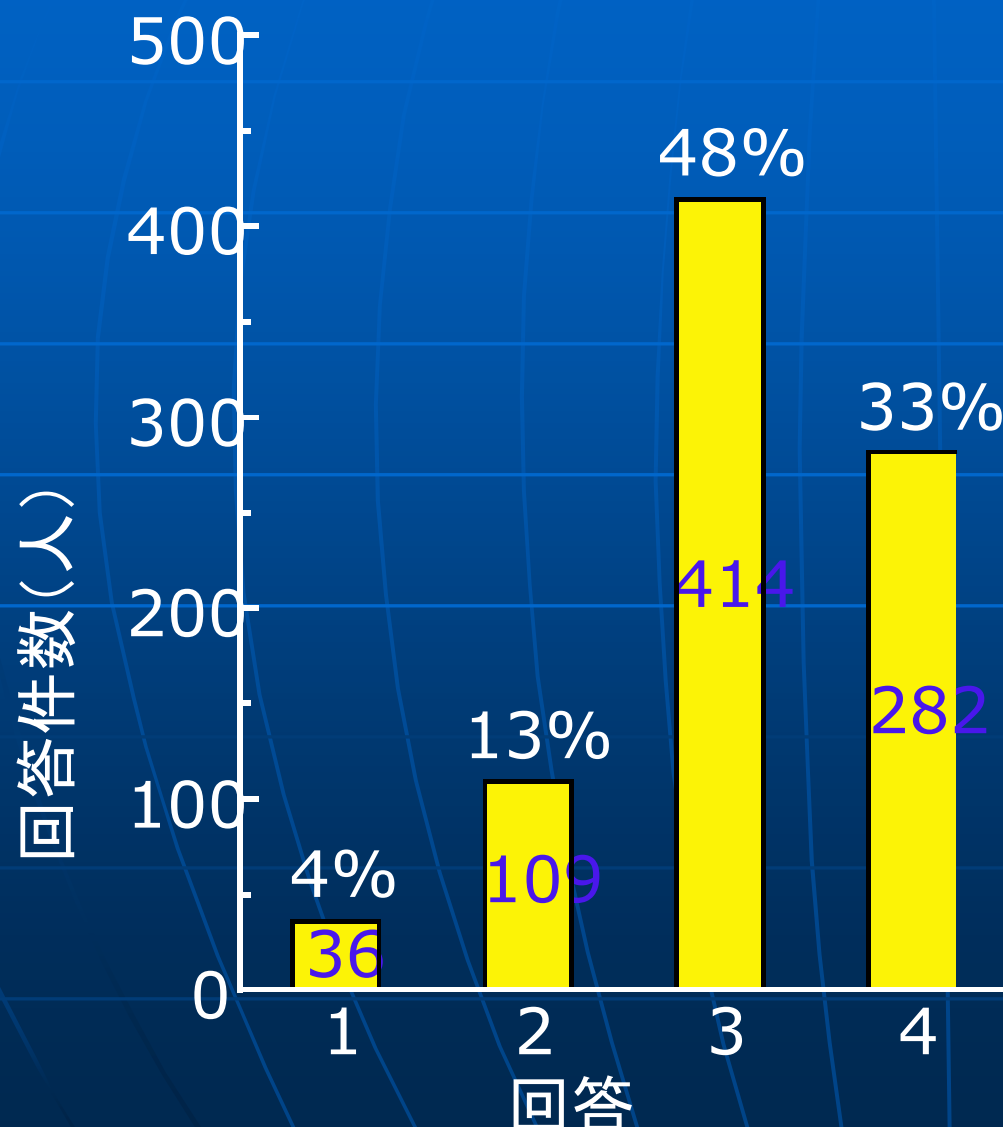
# 橋梁建設費に対する設計地震力の影響

下部構造

橋全体 = 上部構造  
+ 下部構造



# 国民は橋梁の耐震性能目標をどのように評価しているか？

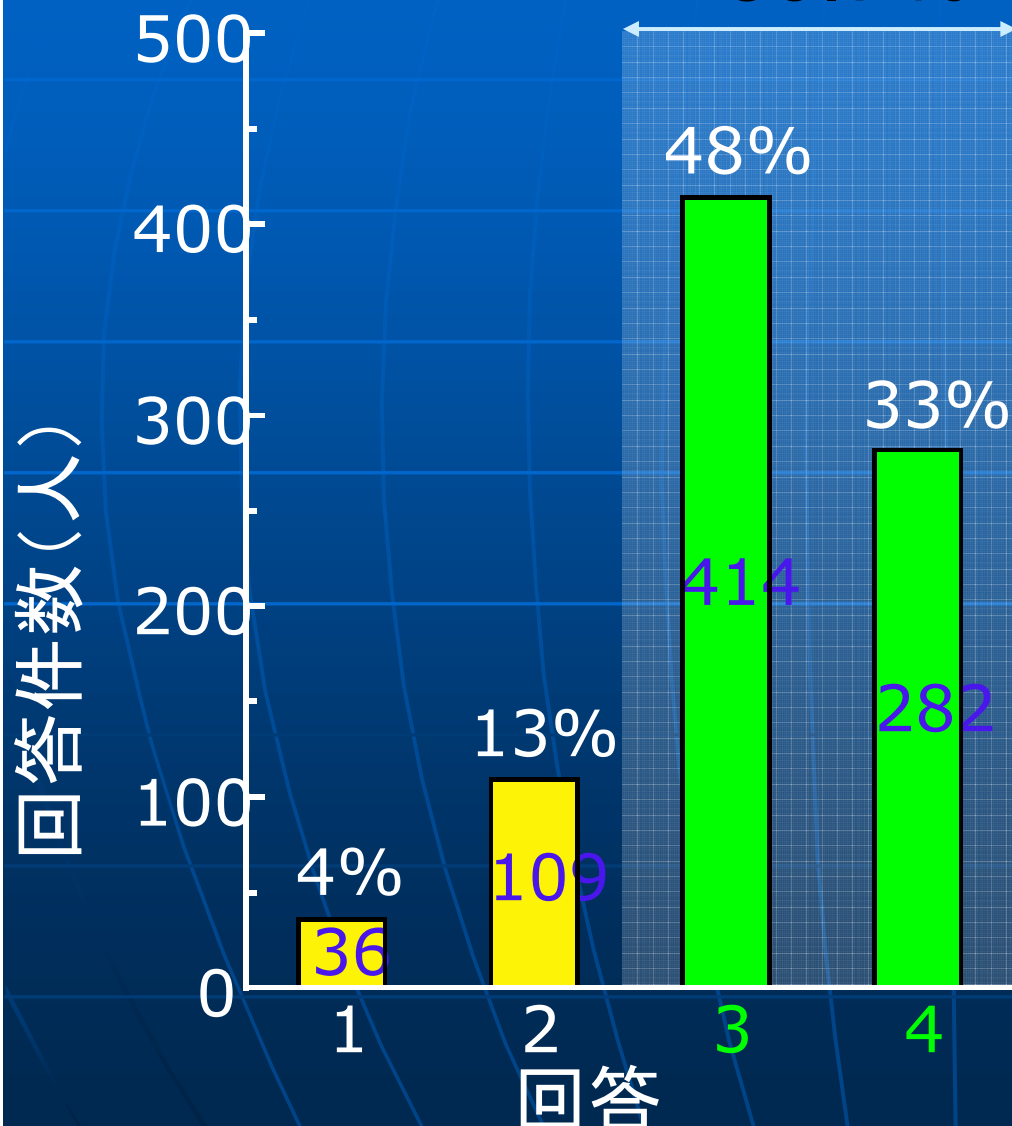


- 1) 相当の被害を受けるが落橋はしない
- 2) 地震後、短期間に復旧できる
- 3) 地震後、直ちに使用できる
- 4) コストがかかっても、被害を受けるべきではない



# 国民は橋梁の耐震性能目標をどのように評価しているか？

80.7%



- 1) 相当の被害を受けるが落橋はしない
- 2) 地震後、短期間に復旧できる
- 3) 地震後、直ちに使用できる
- 4) コストがかかっても、被害を受けるべきではない

# たった4%の支持しか得られなかった、現在の我々の耐震性能目標

中小地震には機能保持、大地震には崩壊防止

- どうして大地震の時にこそ使える橋を造らないの？
- 技術的にも難しいし、コストもかかるものですから・・
- コストがかかるといったって、地震の時に耐えるようにするのが耐震設計でしょう！ あなた馬鹿じゃないの？ そんなの常識よ！
- .....

# 耐震設計の常識は国民の常識か？

## ● 国民が求める復旧期間と現実の復旧期間

- ✓ 89.3% の国民が1週間以内の復旧を期待
- ✓ 兵庫県南部地震では、現実に復旧が必要な被害が生じれば2, 3ヶ月の復旧期間はざら

## ● ダメージフリー橋を建設するためのコスト増は？

- ✓ 設計加速度応答スペクトルが4gであれば、橋梁上下部構造の建設費は現状の9%増程度
- ✓ ダメージフリー橋の建設のためであれば、現状に比較して30%以内の建設費増に収まるのであれば、建設費増が受け入れられると国民の80.4%が回答

## 耐震設計の常識は国民の常識か？（2）

### ●“大規模地震に対しては崩壊防止”という性能目標は国民に支持されているか？

✓上記の性能目標は現在の耐震設計の基本となっているが、これを支持する国民は4%しかいない。

✓最も高い支持を得たのは“地震後直ちに復旧できなければならないで、全体の48%、ついで、“被害を生じさせるべきではない”で33%となっている。

# 目こぼしになっている耐震設計の目標

- 「大地震時に安全」という性能目標は技術者や研究者が勝手にそう決めているだけで、国会で議論し、法律で決められているわけではない。
- 道路法からすれば、人工工作物は安全でなければならない
- 地震は大変そうだからという認識で、社会の関心が集まっていないだけ。しかし、安全に対する社会の認識も次第に変わりつつある。

# 地震被害を受けない橋(ダメージフリー橋)の耐震技術

- 特殊な橋や液状化、流動化、斜面崩壊を除けば、地震被害をほとんど受けない橋(ダメージフリー橋)の設計は可能ではないか？
- ダメージフリー橋の耐震技術を開発すべき
- 現状では、まだ、ダメージフリー橋の設計ができない条件の橋では、そのことを国民に説明すべき

動的解析を使いこなしていくための技術  
と経験の蓄積が重要

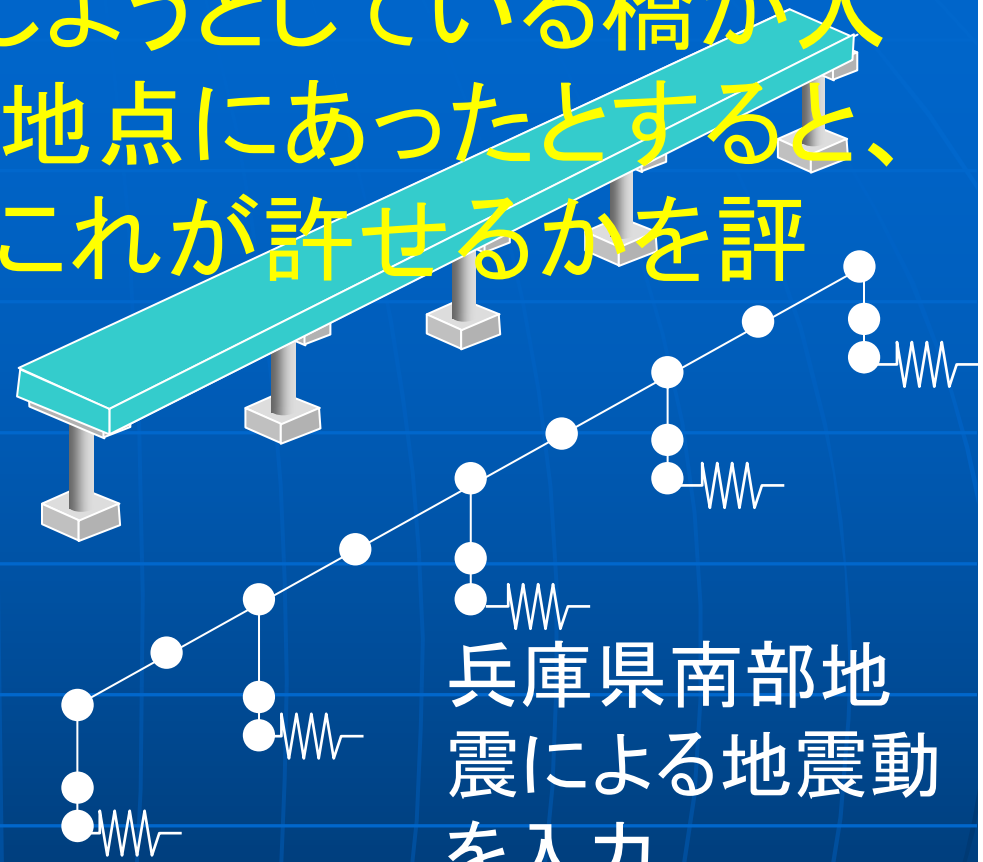
動的解析とは、設計しようとしている橋が入力地震動が得られた地点にあったとすると、  
どういう被害が生じ、これが許せるかを評価すること

神戸の地震動を  
入ると、こんなになるけど、  
このくらいの被害は生  
じてもいいかな？



神戸の地震の地  
震ではこんな被害  
があったけど……

兵庫県南部地  
震による地震動  
を入力





## 動的解析は複雑か？

- 動的解析法は静的解析法よりも理解が困難
  - ✓ たとえば、振動モードの直交性
  - ✓ 刺激係数、有効質量
  - ✓ .....
- 動的解析法は複雑であるが、動的解析の利用は静的解析よりもストレート
- 動的解析の利用に際しては、動的解析法の基礎知識は持っていなければならない
  - ✓ 振動モードの符号が違うのですが..
  - ✓ 減衰定数って何ですか？

## 動的解析は複雑か？(2)

- 今後、動的解析の活用法のノウハウの蓄積が重要
- かつて、動的解析法をマスターしていない者が動的解析を使用するのはけしからんという時代もあった。
- TVの理論(電子理論)を知らない人間がTVを活用するのはけしからんという人間はいない
- 解析ソフト開発者とこれを使いこなす技術者は分業すべき時代になっている



## 入力パラメーターに敏感な動的解析??

- 動的解析結果が橋の物性や地盤条件、減衰定数、入力地震動によって複雑に変化する
- 実際の橋の振動はどうか？実際の橋はもっと複雑に各種条件で変化する
- たとえば、減衰定数は桁や橋脚、地盤等の部材で変化する。これを動的解析でモデル化するのは面倒だという見方もあるが、静的設計法ではどうなっているのか？
- 静的設計法では、極めて単純な割り切りしかされていない。したがって、静的解析では現状以上に耐震性能を向上させることは困難

まとめ

# どうすれば橋は安全になるかのノウハウの蓄積が必要

- 技術基準は、所詮、べからず集で、最低レベルの要求を記述したに過ぎない。これに優等生的に従ったからといって、橋がどこまで耐震的になるかは疑問。
- 計画、設計、施工、維持の各プロセスで、橋を耐震的にするためにどうすればよいか、システム的に考えられていないことが問題。基準に従った耐震計算をしているだけ。
- 計画、設計、施工、維持管理の各段階で、耐震性を向上のために、創意工夫を凝らした事例を集め、出版し、顕彰するシステム造り

# 知恵を絞った耐震技術の開発

- 隅田川の橋梁群を見てみると、小さな断面で河面すれすれに張り付き、ぎりぎりに作られている。当時の国力を反映しているともいえるが、橋全体で自然に必死で抵抗しているように見え、けなげである。思わず、「がんばって」と声援を送りたくなる。
- 大断面、高橋脚で橋にしなくても良いところまで橋にし、自然に必死に抵抗しているどころか、自然をコントロールしているように見え、けなげさを感じない橋もある。無駄な土木施設との国民の非難の一端もこういう点に関係するのではないか？
- 耐震技術も、“金”ではなく“知恵”を結集することが大切。

## まとめ

- 私たちは、地震時保有耐力法の上で、かつての震度法の時代のように思考停止になってはならない。
- 塑性ヒンジを造ることが耐震設計の目的ではない。
- 次のステップの耐震設計に期待したい事項
  - ✓ 基準の激変を緩和するという震度法の役割は終わった。いまは、震度法の設計がガンになっている。
  - ✓ 設計目標を明確にする。国民の意識も変わってきているのでは？
  - ✓ より安全な橋梁（たとえば、ダメージフリー橋）を設計し、このレベルに耐震補強できる設計法、施工法の開発