

第 1 回 定 期 研 究 会

平成 23 年度 SGST 第 1 回定期研究会 議事録

日時：平成 23 年 4 月 14 日(木) 16:00 ~ 17:30

場所：名城大学 名駅サテライト

出席者：近藤，宇佐美，小塙，渡辺，葛(名城大)，永田，奥村(名工大)，鈴木，青木(愛工大)，木下(岐阜大)，渡邊(岐阜高専)，中野(愛知県)，加藤(海洋架橋)，野田(中日本ハイエイ)，澤木，長谷川(セトナルC)，岡本(パシコ)，森野(長大)，岸本，戸田(創建)，加藤(中日本C)，川瀬(日中C)，園部(JTS)，嘉津(KTS)，穠山(コベルコ科研)，高橋(アスコ)，藤澤(新三重技術)，小西(日橋)，小枝(川田)，神頭，吉嶺(日車)，織田，森田，松村，中川，坂部，石黒，松原，上田，菱川，鈴木，所，酒井(瀧上)，藤井，窪田(日鉄トピー)

以上 45 名(敬称略)

1. 定期研究会 (16:00 ~ 17:30) (近藤代表)

講演者：東京工業大学 教授 川島一彦 氏

講演項目：「E-Defense を用いた橋脚の耐震実験」(橋梁の耐震設計と最近の話題)

土木学会 CPD プログラム認定番号 JSCE10-1010

講演内容

講演「E-Defense を用いた橋脚の耐震実験」(橋梁の耐震設計と最近の話題)：

E-Defense を使用した RC 橋脚の耐震実験で、RC 柱の崩壊に至る状況を説明いただいた。説明には動画も織り込まれており、分かりやすく説明いただいた。また、ポリプロピレンを使用したコンクリートの場合、耐震性が向上するとの実験結果であった。

耐震設計に関する一般市民へのアンケート結果によれば、市民は橋梁の復旧に 1 週間以内を要望しているが、実工事では 2 ~ 3 ヶ月かかるため、使用者の要望と供給側の実態に乖離が見られる。また、ダメージフリー橋の建設コストに関するアンケートでは、30 ~ 50% のコスト増を市民が認めていることが分かった。

また、東北地方の震災の調査についても講演いただき、現地での状況をご説明いただいた。

本発表については、大震災の直後であり、耐震に関する参加者の関心も高く、活発な質疑応答が行われた。

以上//

東海構造研究グループ
名城大学名駅サテライト

橋梁の耐震設計と最近の話題

平成23年4月14日

東京工業大学
大学院理工学研究科土木工学専攻
川島一彦

安全だけでなく、安心な社会インフラが
要求されている

現在の性能目標

国によって多少表現は異なるが、橋梁に限らず
建物も含めて、現在の性能目標は；

●中小地震に対して

橋梁は弾性範囲に収まり、被害を受けず、
機能を保持する

●大地震に対して

橋梁は大被害を受けても、人命に関わる落
橋だけは防止する

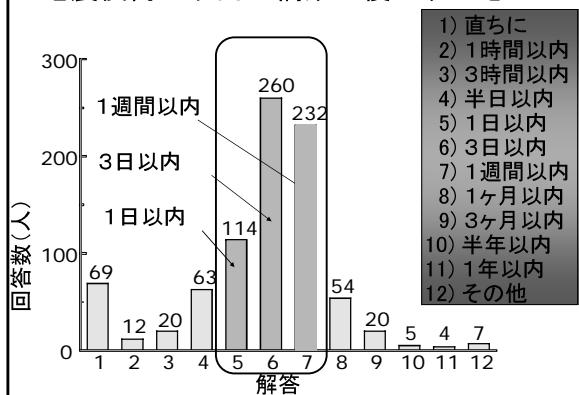
国民に対する橋梁の耐震性能目標に 関するアンケート調査

- 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



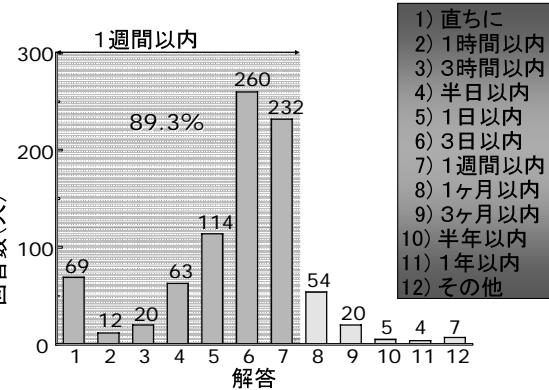
地震後何日以内に橋梁は復旧すべきか？



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

- 地震なると、電気もないんだろ。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週間も食い物なかつたらやばいぜ。
- 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?



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
-



- 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。

国民の要求と現実の差が大きい復旧期間

▼ 国民が求める復旧期間

→ 89.3%の国民が1週間以内を要求

▼ 現実には、兵庫県南部地震では

→ 2、3ヶ月以上を要した

大地震時にも機能を保持できる橋(ダメージフリー橋)は建設できないのか?

- 可能である。しかし、2つの制約がある。

✓技術的困難性

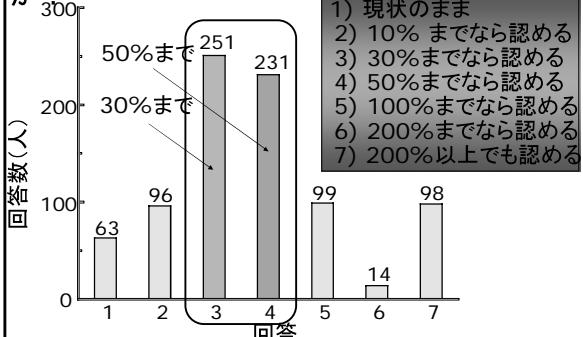
✓経済的制約

●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

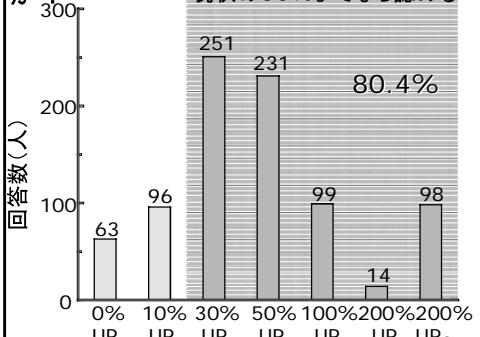
✓液状化、流動化、斜面崩壊等、地盤破壊が起こる地点に建設される橋

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。うちはぎりぎりでつやっているんだし、とてもこれ以上税金が上がったくわくはないわ。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、じょうぶい橋を造つてちょうだい。

●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よ。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。

●....

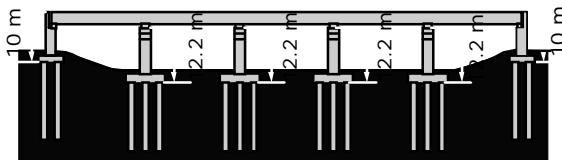
ダメージフリー橋を建設するために、現状に比較してどれだけのコストアップが必要か?

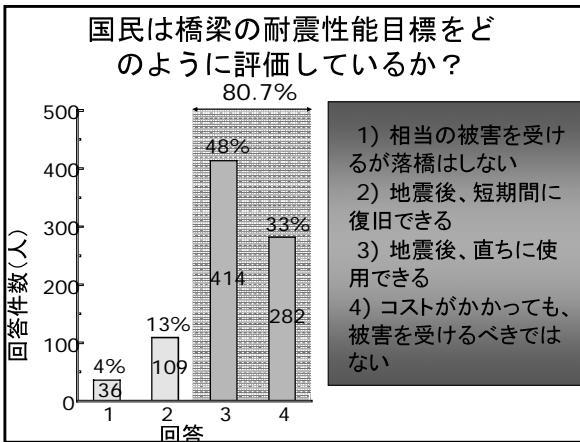
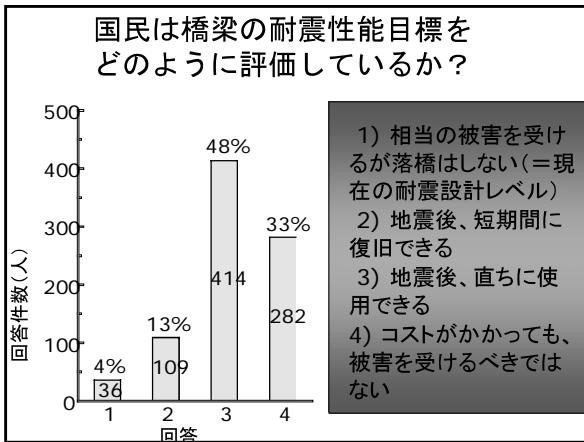
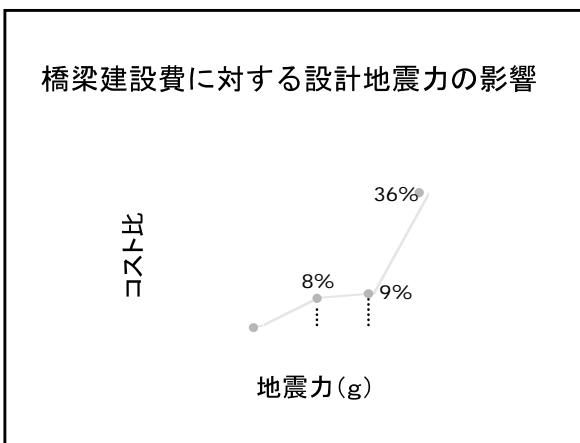
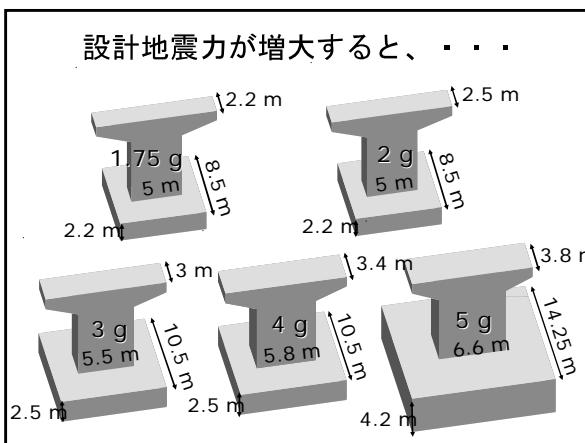
- 現在の設計思想では、“大規模地震時に崩壊防止”
- 崩壊しさえしなければ、大被害は許容している
- “安全”であっても“安心”な橋はできない
- “大規模地震時にも機能を保持できる橋”=ダメージフリー橋

検討対象とする橋

5径間連続橋
平成12年道路橋示方書で耐震設計

$$5 \times 40 \text{ m} = 200 \text{ m}$$





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！
-

多少の被害は生じるが、落橋はさせないように耐震設計することは可能か？

- “多少の被害は生じる”が、“人命に関わる崩壊は防止する”とよく言われるが、これは言葉のレトリックで、間違いだ！

被害	マイ	多少の	かな	相当	大	崩壊
無し	ナ一	被害	りの被	の被	被	
		(あい まい)	害	害	害	

多少の被害は生じるが、落橋はさせないように耐震設計することは可能か？（2）

- 普通に考えれば“多少の被害”とは小被害のことで、“崩壊”はペア（対）になっていない。
- 正しくは、“相当の被害が生じる”が、なんとか“崩壊だけは防止したい”ということ。
- 崩壊防止は、技術者の“願望”に過ぎないのではないか。“崩壊させない”という目標を達成するためには、崩壊に対して相当の安全性を見込まないと、達成不能。
- “被害は許さない、絶対に崩壊させない”という目標で耐震設計しても、取りこぼしが生じるのが技術の世界。“多少被害が出ても良いが、崩壊はさせない”という弱腰な目標で、崩壊が防止できるだろうか？

地域防災計画等では、おおむね地震発生後、4日めからは行政による公助を開始することを想定している。橋梁は地震後3日以内に復旧できるか？

- “落橋しさえしなければ、すぐ復旧できる”と考える技術者がいるが、これは間違いだ。復旧を要する構造的な被害が生じれば、この復旧には数ヶ月を要するだろう。
- 地震後3日以内で復旧できるためには、目視で問題なしと判断できる程度の軽微な被害か、せいぜい段差すりつけ程度の緊急措置で復旧できなければならない。
- 技術基準では、“できるだけ速やかに復旧する”といった表現が使われているが、曖昧な表現。“できるだけ速やか”とは、何日以内の復旧を目指すのか？また、“できるだけ”といった、単なる努力目標でよいのか？

地震災害対策では、何が求められているか？

- 国民生活の向上とともに、安全・安心が国民の最も重要な関心事の一つになってきた。
- 災害が生じる度に犠牲者が出、避難所暮らし等、不自由な生活が強いられる。
- 日本全体が密接に関連して生産活動や食料需給が行われている。ある箇所の被害は他の箇所の生活や生産活動に大きな影響を与える。
- 従来は犠牲者を出さないことが目標とされてきたが、今後は、地震後の機能が失われる期間をできるだけ短くするだけでなく、機能維持が可能な耐震技術が求められるようになってきた。

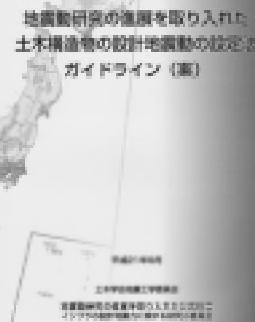
断層モデルや確率的地震動評価が各所で行われるようになってきた。我々はこの成果をどのように使いこなすべきか？

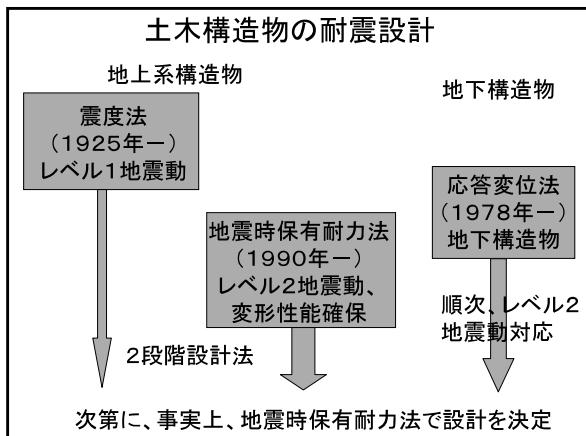
地震動研究の進展と土木構造物の
設計地震動に関する講習会
土木学会地震工学委員会・地震動研究の進展を取り入れた
公共社会インフラの設計地震力に関する研究小委員会

地震動研究の進展を取り入れた
土木構造物の設計地震動の
設定法ガイドライン（案）

平成21年12月1日

東京工業大学大学院理工学研究科
土木工学専攻
川島一彦





震度法に用いる設計地震動

- 設計震度0.2～0.3は、過去のいろいろな震災経験を経て総合的に定められた地震力を与えると、長い間考えられてきた。
- しかし、強震記録に基づく距離減衰式が実用されるようになるに従い、1980年代後半から（特に、兵庫県南部地震以降は）、設計震度0.2～0.3は、増幅率2.5程度の構造物では地表面PGAが0.08g程度のさて大きくなない地震動に相当すると考えられるようになってきた。
- 震度法にかわり、現実的な地震動、事実に近い耐震計算法、事実に近い耐力・変形性能を考慮する地震時保有耐力法に設計の主力が移ってきた。

地震動研究の進展を取り入れた土木構造物の設計地震動の設定法ガイドライン（案）

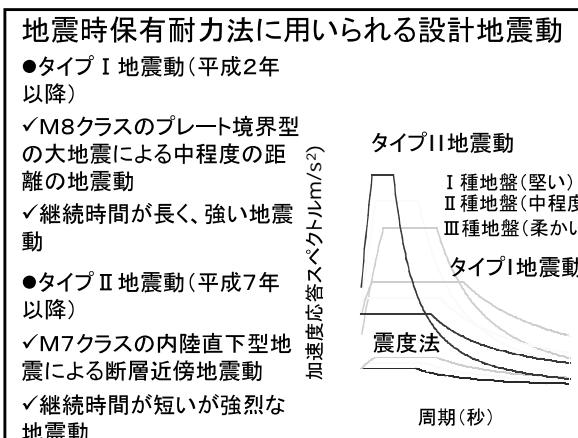
1. 設計地震動の設定の基本方針
2. 断層近傍地震動の特性
3. 短周期地震動が土木構造物に与える影響
4. 長周期地震動の特性
5. 震源断層を特定した地震動の推定手法とその利用
6. 確率論的な地震動評価とその利用
7. 設計地震動の設定に使用してはならない気象庁震度階
8. 設計地震動の設定と工学的判断
- 付属資料

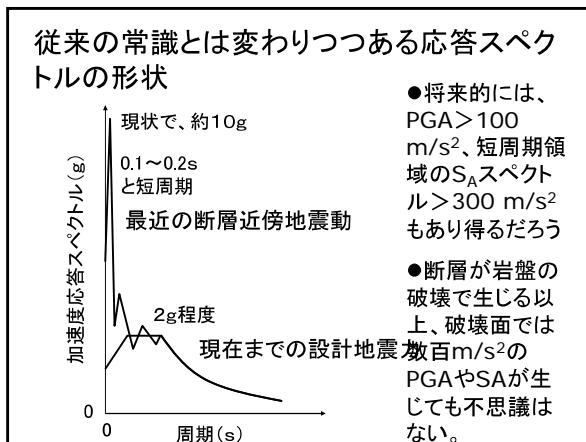
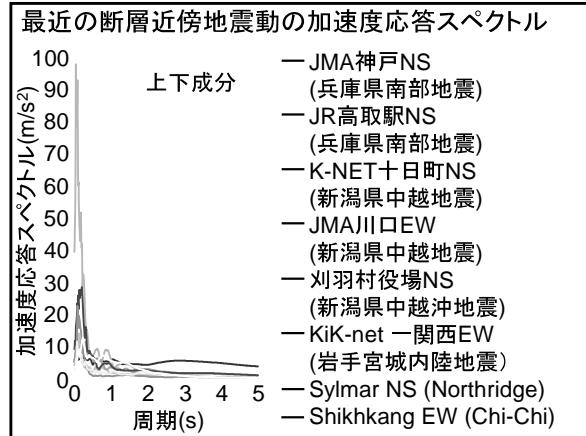
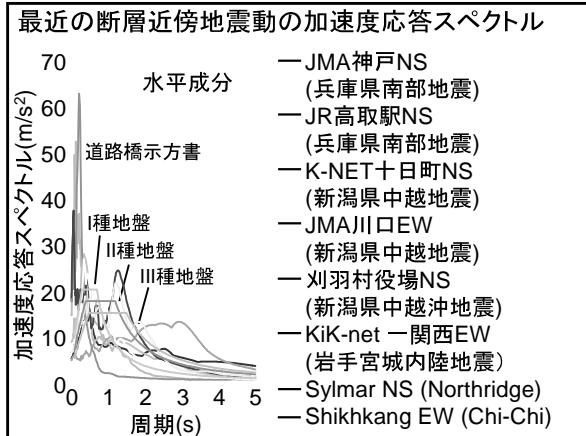
1. 設計地震動の設定の基本方針

- 構造物の耐震設計では、設計地震動、耐震計算法、構造設計が、それぞれより事実に近く、実態に近い結果を与えるように設定していく必要がある。
- 設計地震動を設定する際には、常に地震、地震動、断層等に関する新しい知見に注意を払い、必要な情報は適宜、設計地震動の設定に取り入れることが必要である。
- 地震、地震動、断層に関しては、まだ知られていないことがいろいろあること、現在の知見とそれを支える科学的予測手法の不確かさをよく理解し、適切な工学的判断を加えた上で、設計地震動を設定しなければならない。

設計地震動の設定に際しては、地震学上の情報に工学的な判断を加えていくことが重要

- 地震動評価は地震学的な発見や研究の進展がある度に変わっていく
- 土木技術者は事実がわかつていなくても、現状の知識に技術的洞察を加えて将来にわたって安全な社会資本インフラを造っていく使命を負っている。
- 現状の知見とそれを支える地震学的予測手法の不確かさをよく理解した上で、その度合いに応じて適切な安全率を見込んだり、仮に現状の設計地震動を大きく上回る地震が生じても、構造物の崩壊だけは免れるような手段を講じる等、工学的判断を加えておかなければならぬ。





より強く、継続時間の長い地震動に対する配慮が必要

- 現在までに蓄積された断層近傍地震動は、ほとんどがマグニチュード7前後の地震によって得られた記録であり、これよりもマグニチュードの大きい地震による断層近傍地震動が得られた事例はまだほとんどない。
- 大規模地震による断層近傍地震動を考慮する必要がある地域においては、現在までに得られている断層近傍地震動よりも、さらに強度が大きく、継続時間の長い地震動となる可能性が高いことを認識しておく必要がある。

- #### 4. 長周期地震動の特性とこれに対する配慮
- 大規模地震では近距離において発生した場合はもちろん、中～遠距離において発生した場合にも、周期3秒以上の長周期地震動が一般に予期されるよりも卓越して発生する場合がある。
 - 長周期地震動は、厚い堆積層が存在する場合に卓越することが知られている。長周期構造物に対する設計地震動の設定に際しては、地域ごとに卓越しやすい周期が異なることもふまえて、長周期地震動の影響を考慮する必要がある。
 - 長周期地震動対策として、長周期成分における設計地震動に余裕を見込むだけでなく、構造物の減衰性能を高め、共振を避けるように固有周期を定めることが考えられる。

5. 震源断層を特定して推定した地震動の活用

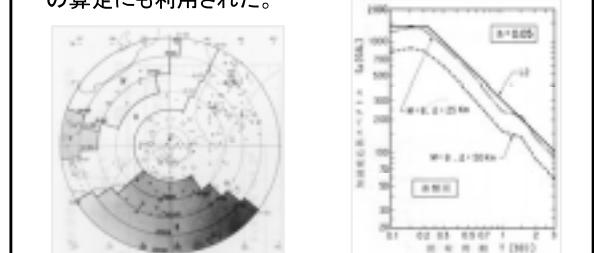
- 近年の地震学の顕著な進歩として、設計地震動の評価に重要な役割を果たしつつある。
- 推定手法には、それぞれ長所、短所や適用限界があるため、これらの特徴をよく理解して解析結果を利用する必要がある。

震源断層に基づく地震動の利用上の注意事項

- 地震動の推定結果が実測記録とよく一致した場合には論文で公表されやすいが、一致しない場合もその背後に多数存在するといわれている。
- 推定結果と実測記録の波形の特徴が一致し、その上で線形および非線形応答スペクトルが一致するかどうかで地震動の推定精度を検討すべきところを、気象庁震度階の比較だけで推定精度が評価されている場合が多い。
- 地震動が震源依存、地点依存である以上、ある震源、地点を対象に推定手法やパラメータの設定精度が検証されていても、これらが常に妥当とはいえない。
- 現時点では、大規模構造物を対象に、委員会等の場で専門家が入って設計地震動を設定する際に利用できる手法と考えるべき。

6. 確率論的地震動評価とその利用

- Cornel & McGuire以降、土木構造物の耐震設計でもいろいろな形で利用されてきている。
- 東京湾横断道路や本州四国連絡橋等の設計地震動の算定にも利用された。



確率論的地震動評価とその利用 精度は十分か？

- 距離減衰式の精度
 - ✓ 距離減衰式の回帰誤差が大きい
 - ✓ 断層の上盤と下盤における距離減衰の違い
 - ✓ 断層ごとの応力降下量が反映されていない
 - ✓ 地域的な距離減衰特性の違い
- 地震パラメータの推定精度
 - ✓ 地震規模、平均発生間隔、最終発生年の推定精度
 - ✓ 断層が連続する場合に、どの範囲で断層が一度に破壊するかの評価
 - ✓ 周辺に複数の断層が存在する場合に、単独の断層か同一の断層かの評価

一般の構造物では、確率論的地震動マップ をどのように利用していくべきか？

- 確率論的地震動マップをどのように利用すべきかに関しては、現状では固まった考え方ではない。
- 特に、発生確率や再現期間をどのように評価するかにに関して、合意された考え方ではない。国際的にも、発生確率や再現期間に対する考え方には大きな差があるのが現状である。
- 基本的に、以下の利用法が考えられる。
 - ✓ 確率論的地震動マップにしたがって、地震動強度を求める（米国やECではこの考え方方に近い）

AASHTO(2009)における耐震性能目標

- 75年に対して7%期待値（再現期間約1000年）のハザードに対して、人命確保（Life safety）を目標として設計する。
- 人命確保（Life safety）とは、橋梁は崩壊する確率は低いが、大被害を受け、長時間にわたって交通サービスが失われる可能性がある状態をいう。また、部分的もしくは全体の取り替えが必要となる可能性がある。
- 大被害とは、鉄筋降伏、コンクリートの大規模な剥離、鋼製橋脚の大規模な降伏と局部座屈、鋼製プレースの全体系・局部座屈、支点付近の桁スラブのクラック等を生じる状態をいう。また、桁の仮支持も必要となる可能性がある。

EC8における耐震設計の基本方針

- 崩壊防止目標（No-collapse requirement）と、限定被害目標（Damage limitation requirements）の2種類の性能目標が設けられている。
- 崩壊防止目標とは、50年間の超過確率が P_{NCR} もしくは再現期間が T_{NCR} の設計地震動に対して、構造物が部分的にも全体系としても崩壊することなく、構造系としての一体性と残留耐力を保った状態にあるように設計すること。
- P_{NCR}, T_{NCR} はそれぞれの国の責任機関が定めるが、一般に、 $P_{NCR} = 10\%$ 、 $T_{NCR} = 475$ 年が推奨されている。
- 橋梁では、耐用年数は、一般的な橋では100年、戦略的重要性のある橋では200年、重要性の低い橋では50年とすることが推奨されている。

一般的の構造物では、確率論的地震動マップをどのように利用していくべきか？(2)

- 確率論的地震動マップ利用法として、基本的に、以下の利用法が考えられる。

- ✓確率論的地震動マップにしたがって、地震動強度を求める(米国やECではこの考え方近い)
- ✓確率論的地震動マップから地域区分を定め、これから地震動強度を評価
- ✓確率論的地震動マップから相対的な地域区分を定め、これに工学的判断を加えて、地震動強度を評価(現在の日本方式)

一般的の構造物では、確率論的地震動マップをどのように利用していくべきか？(3)

確率論的地震動マップを、そのまま設計地震動強度の評価に使用できるか？

- 震源を予め特定できない地震の存在

●米国ほどではないが、我が国でも、地域間である再現期間に相当する地震動の期待値には大きな幅がある。期待値の大きい地域に合わせて再現期間を定めれば、期待値の低い地域の地震動が小さくなり過ぎ、実効的に地震が発生した場合の耐震性を確保できない恐れがある。

●地震危険度を全国で一律にしておけば、地震被害が生じても許容されるか？

震源を予め特定できない地震

- 近年起きた地震は、ほとんどが地震前に知られていなかった断層で生じている。

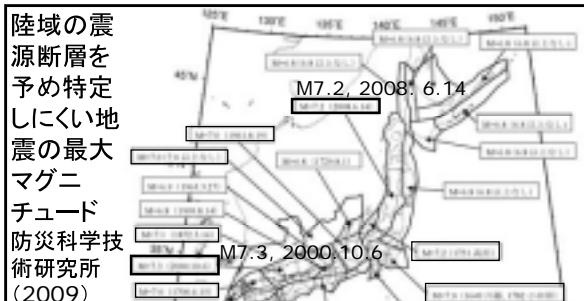
- ✓沿岸海域の地震：2005年福岡県西方沖の地震(MJ7.0)、2007年能登半島地震(MJ6.9)、2007新潟県中越沖地震(MJ6.7)
- ✓陸域の地震：2000鳥取県西部地震(MJ7.3)、2004新潟県中越地震(MJ6.8)、2008岩手・宮城内陸地震(MJ7.2)

震源を予め特定できない地震(2)

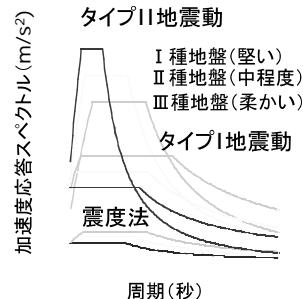
●土木学会土木構造物の耐震設計法に関する特別委員会(2000)：MJ6.5による地震動をレベル2地震動の下限とする

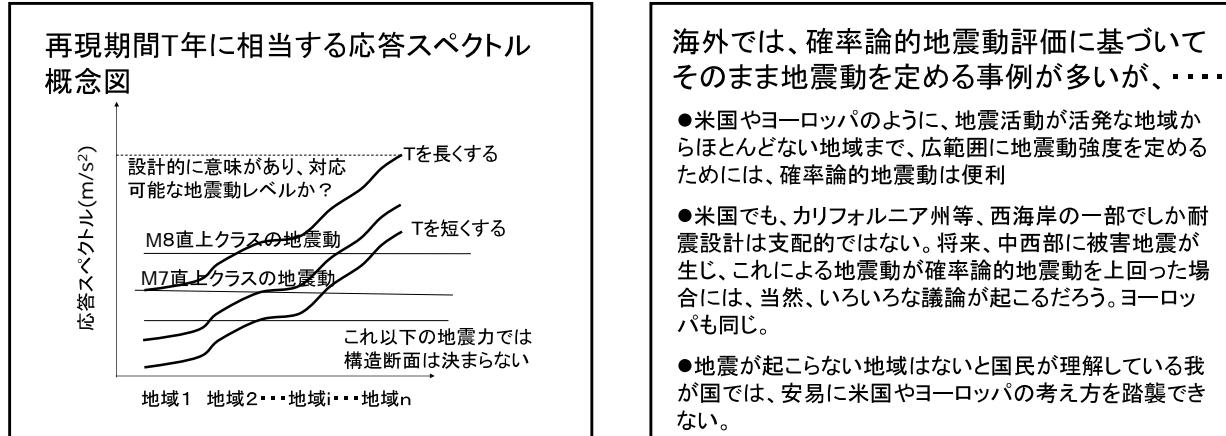
●地震調査研究推進本部(2008)：全国を概観した地震動予測地図の作成に際して、震源を特定しにくい地震の最大Mを、すべての地域で6.5以上と設定

●地震調査研究推進本部(2008)：活断層との対応が取れないMJ6.8の地震が過去に少なからず発生していることから、2009年版の全国地震動予測地図では、陸域の最大MIは6.8以上を基本としているが、活断層との対応が取れないMJ6.8を超える地震が発生した地域では、発生した地震のMがその地域の最大Mとされている。



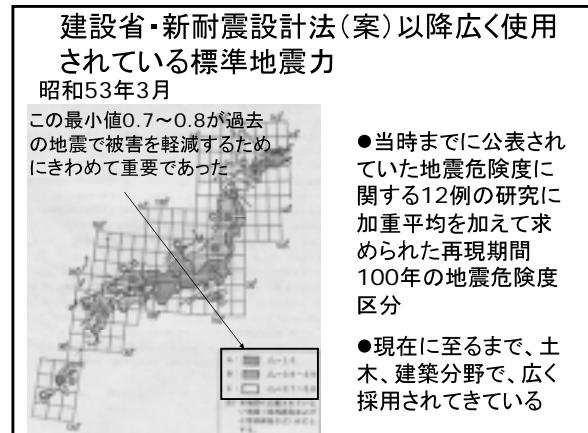
M_J7.3という直下型地震による地震動は、道路橋示方書のタイプII地震動と同レベル





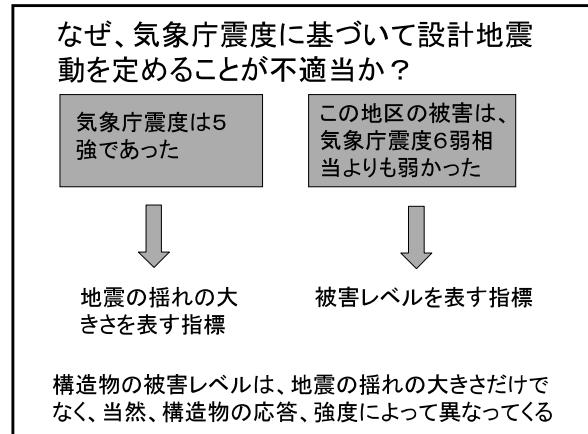
一般構造物(特殊な構造物を除く)では、確率論的地震動マップをどのように利用可能か?

- 確率論的地震動マップにしたがって、地震動強度を求める(米国やECではこの考え方方に近い)
- 確率論的地震動マップから相対的な地域区分を定め、これに工学的判断を加えて、地震動強度を評価(現在の多くの技術基準の考え方)
- 確率的地震動マップによる地震動に、最小値の足切りを加える
 - ✓ M_j7.2直上の地震動を考慮すれば、事実上、これで設計地震動が決定される。
 - ✓ 再現期間を少し長くすると、M_j8クラスの地震が発生する地域があり、これが設計地震動とならざるを得ない。



7. 設計地震動の設定に使用してはならない気象庁震度階

- 気象庁震度は国民にもよく知られた指標
- 気象庁震度階はかつて体感や、周囲の震動、被害状況に基づいて定められてきたが、1996年以降は、計測震度計により自動的に観測される。
- 計測震度は、基本的に、従来の体感震度に近い値を与えるように、地震動にフィルター処理し、これを0～7の10段階で与えたもの。



なぜ、気象庁震度に基づいて設計地震動を定めることが不適当か？（2）

- 気象庁震度に示される被害と、実際の被害には大きな違いが生じる場合がある。
- たとえば、2008年岩手・宮城内陸直下地震では、気象庁震度は6強であったにもかかわらず、木造家屋の倒壊率はほとんど0であった。
- 構造物被害にまで気象庁震度を適用しようとすると、致命的な誤解を与える可能性がある。ある構造物が震度6強に耐えるとか、震度7にも倒壊しないといった使い方は十分注意しなければならない。
- 上限のない「震度7に対しても安全」といった表現は土木技術者は使用すべきではない。

設計地震動は、気象庁震度ではなく、構造物の応答を支配する物理量に基づいて、設定すべき

- 設計地震動の設定には、構造物の応答を表す物理量を用いるべき。
- 地震動の加速度は、構造物の応答とは直接の関係はない。
- 応答スペクトル（線形、非線型）に基づいて、設計地震動を設定するのがよい。

8. 設計地震動の設定と工学的判断

設計地震動の設定

特に重要で、大規模な構造物

- 動的設計の中で、確率的地震動、震源断層を特定した地震動評価結果を活用
- 地震動の最低レベルの設定が重要

多数ある、普通規模の構造物

- 動的設計の中で、強震記録を活用して、耐震性向上を図る。
- 地震動の設定だけにとらわれることなく、構造的にバランスの取れた設計を優先させる

設計地震動の設定に高度な手法を用いると、構造物は耐震的になるか？

- 精度の高い地震動の解析には、多くのパラメータが必要であり、専門家の参加が不可欠。精密な手法を採用したからといって、直ちに構造物の耐震性の向上につながるわけではない。
- 高度な解析が可能なのは、特に重要で大規模な構造物
- 通常クラスの構造物では、耐震設計の全体像をよくとらえて、地震動の設定だけにとらわれることなく、構造設計にバランスの取れた配慮を加え、トータルとして耐震性の高い構造物を目指すことが重要

8. 設計地震動の設定と工学的判断の重要性

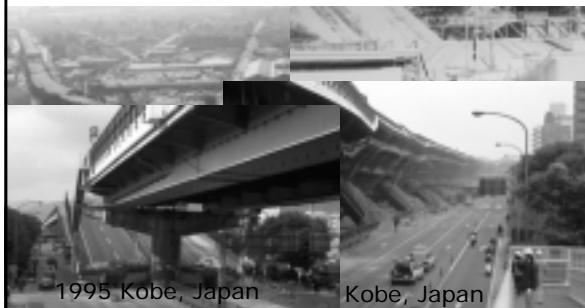
- 現在、まだ巨大地震を含めて規模の大きい地震による強震記録が十分得られておらず、今後とも、断層近傍地震動の特性にはこれから明らかとなっていく事項がいろいろあると予想される。
- 建設後、地震動研究の進展によって、当該構造物の耐震性が確保できないといった事態は極力避けるべき。
- 設計地震動の設定だけでなく、構造系の選定、設計、施工のすべてのプロセスを含めて、将来、設計地震動が大きくなあっても構造物の耐震性が損なわれることのないようにしていくことが重要

設計地震動が大きくなても、耐震性が損なわれないための知恵が求められている

- キャパシティデザインに代表されるように、階層化され、コントロールされた各レベルの損傷の積み重ねにより、構造全体の崩壊を防止する構造
- 破壊領域まで踏み込んだ各種の非線形域の応答をより事実に近く、正確に推定する技術の開発が重要
-

技術的チャレンジ

Whereas bridges are a vital component of transportation system, they are vulnerable to seismic effect.....

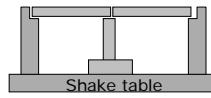


1995 Kobe, Japan

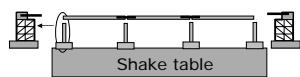
Kobe, Japan

E-Defense Bridge Program based on NEES/E-Defense Collaboration 2005-2010

C1. Component experiments (single column)



■ C2. System experiments (progressive collapse)

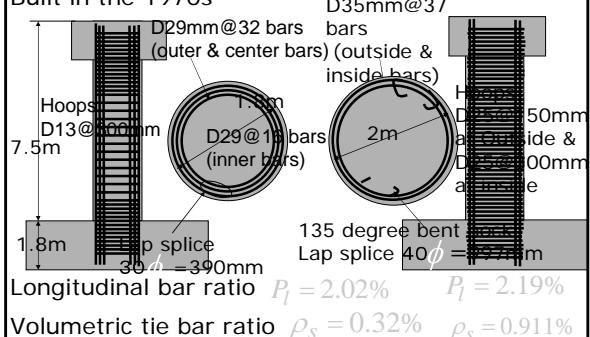


Bridge Program in 2005-2009

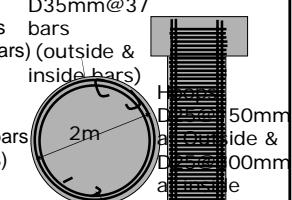
- 2005 & 2006: Analyses, design, and preliminary experiments
- 2007-2009
 - ✓ C1-1: 1970s flexure failure dominant column
 - ✓ C1-2: 1970s shear failure dominant column
 - ✓ C1-3 & C1-4: Seismic retrofit
 - ✓ C1-5: Column designed based on the current code
 - ✓ C1-6: Next generation ductile column

Flexural Failure Dominant Columns

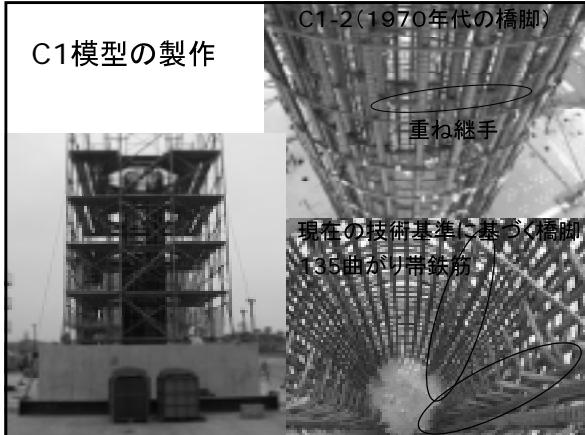
C1-1: A Typical Column Built in the 1970s

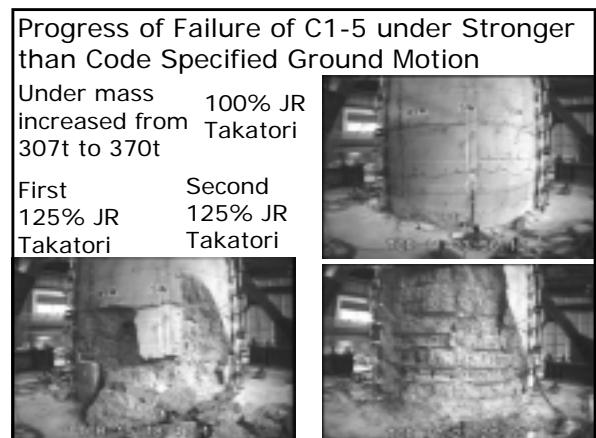
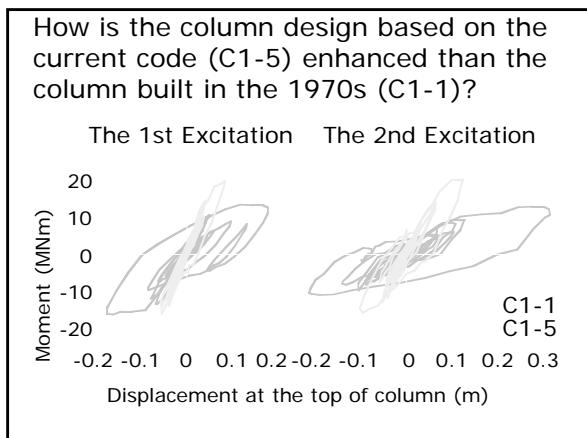
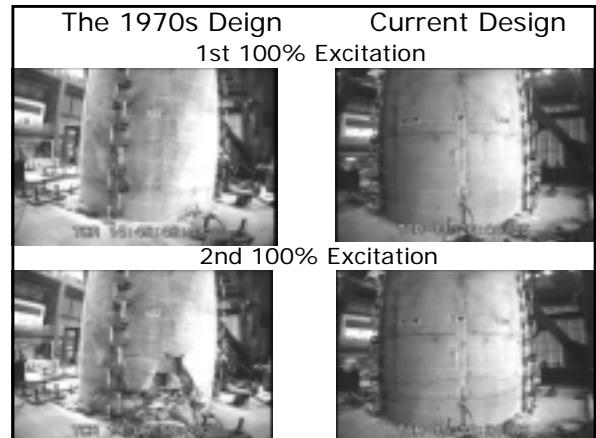
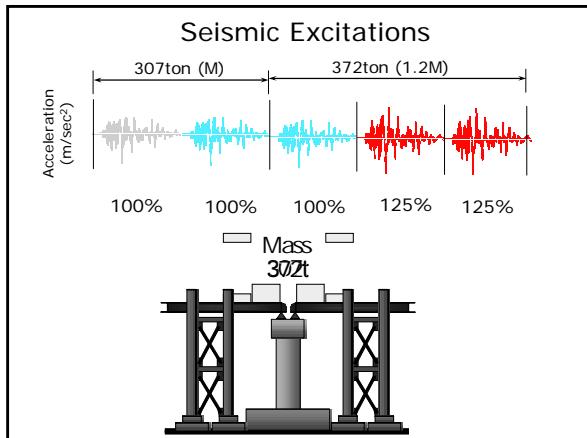
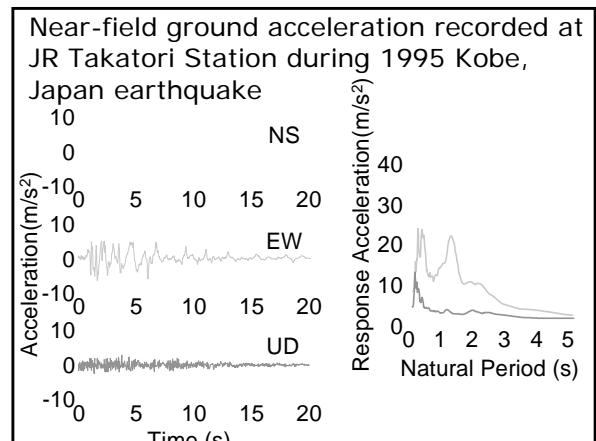
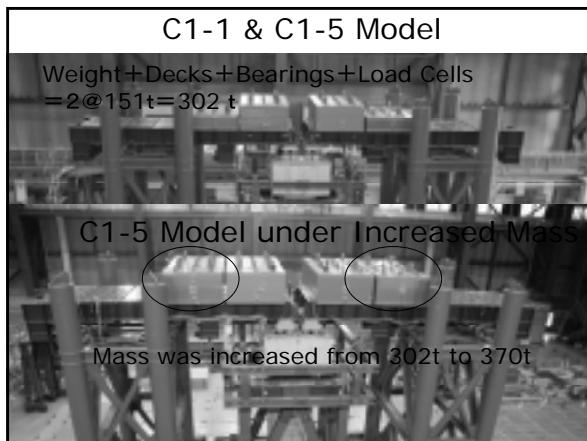


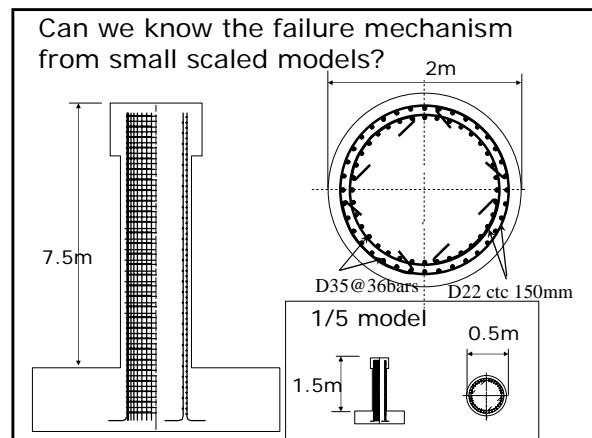
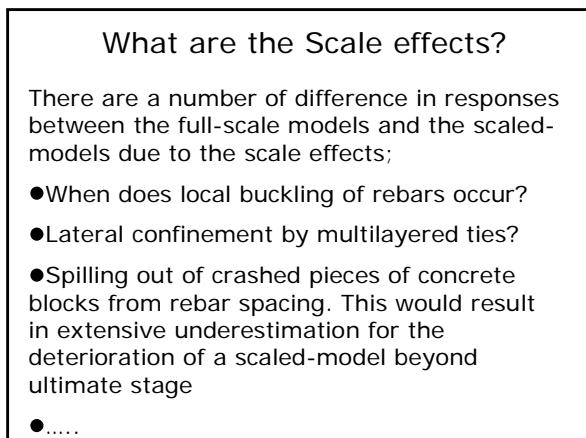
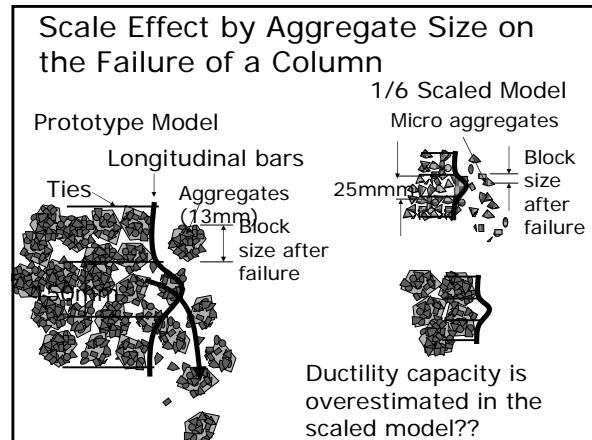
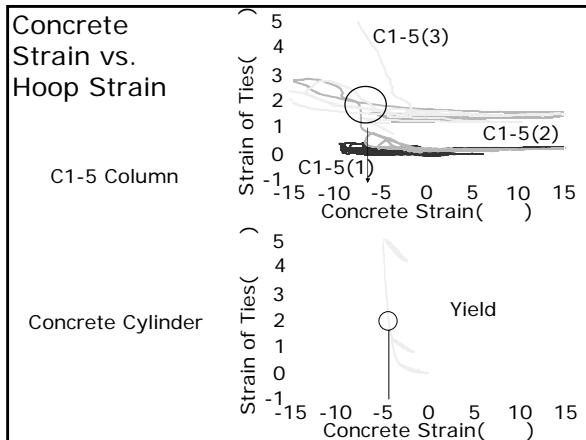
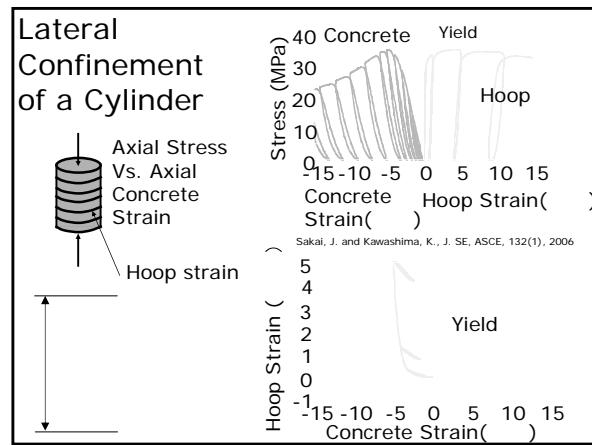
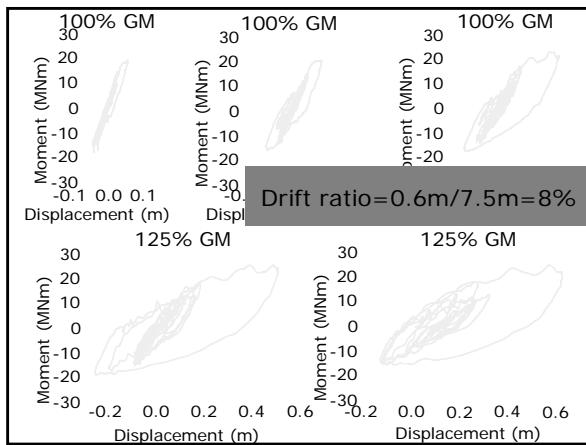
C1-5: A Typical Column based on Current Code



C1模型の製作



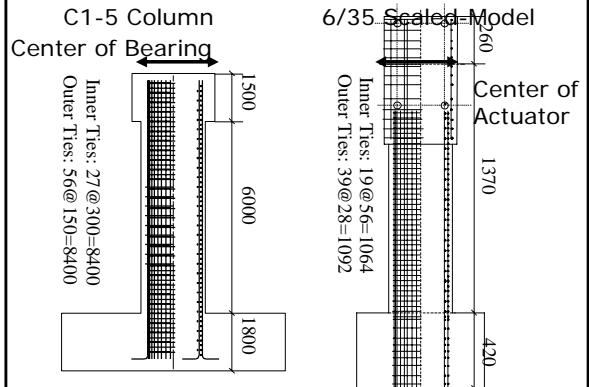




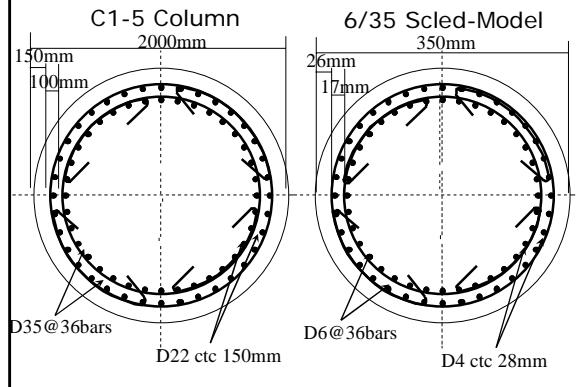
Geometrical Scale of the Scaled-Models was Set to 6/35

Parameters	(a)	(b) Scaled model	(b)/(a)	Ratio
Main bar diameter	35mm	6mm	6/35	1.00
Number of bars	36@2	36@2	1.00	1.00
Tie bar diamter	22mm	3.8mm->4mm	4/22	1.06
Tie bar interval	150mm	26mm->28mm	26/150	1.09
Volumetric tie ratio	0.92%	0.92%	1.00	1.00
Aggregate size	22mm	3.4mm->14mm	14/22	3.71

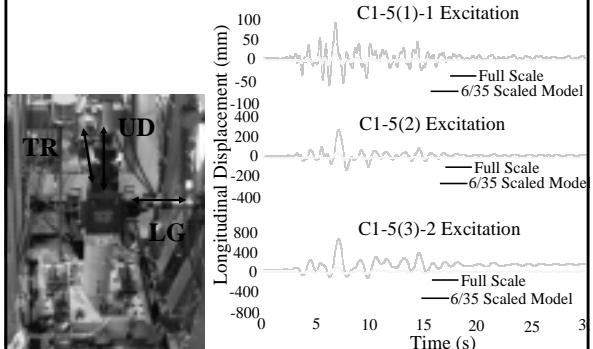
6/35 Scaled-Model of C1-5 Column



6/35 Scaled-Model of C1-5 Column



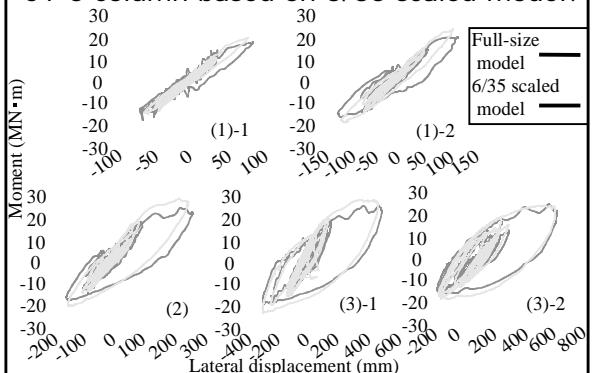
Measured C1-5 column response displacement was imposed to the scaled-model by scaling down the displacement by 6/35

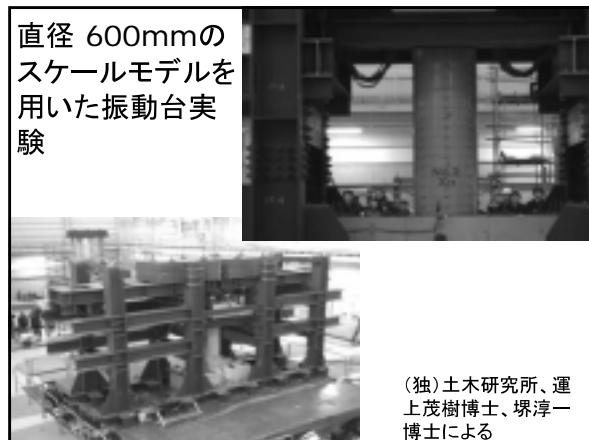
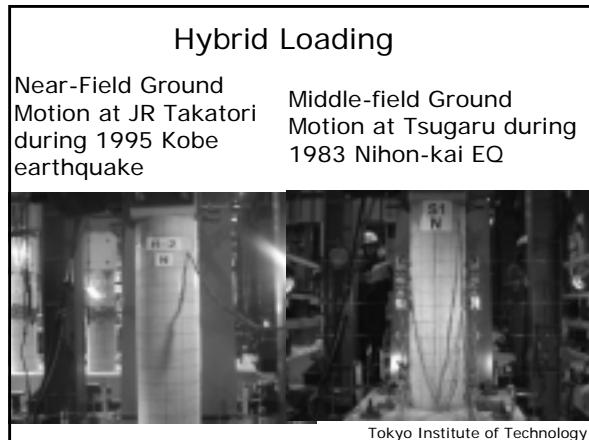
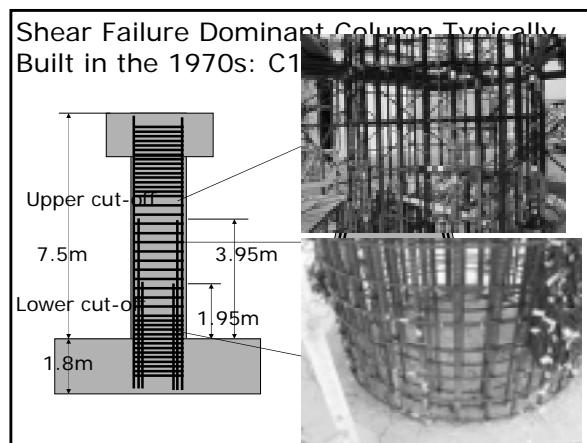
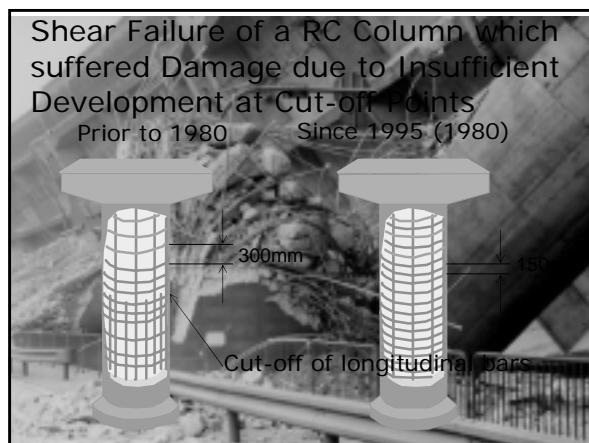


C1-5 Column 6/35 Scaled Model 3rd Excitation

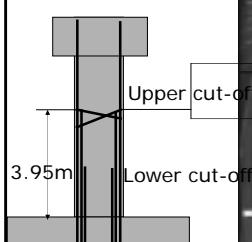


Can we evaluate the flexure strength of C1-5 column based on 6/35 scaled model?

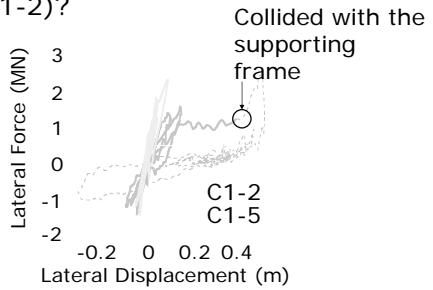




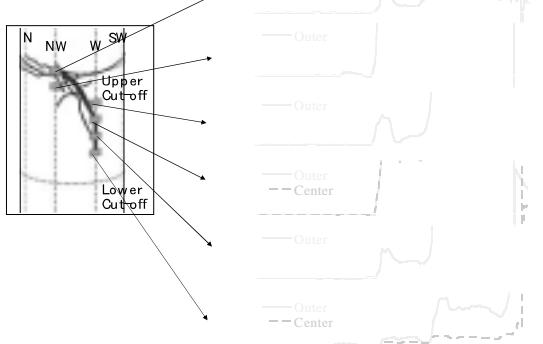
C1-2 Column which fails in Shear



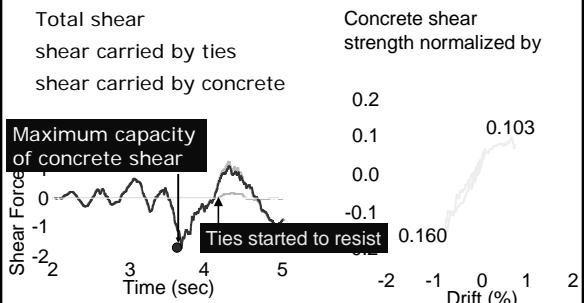
How is the column designed based on the current code (C1-5) enhanced than the shear failure dominant column in the 1970s (C1-2)?



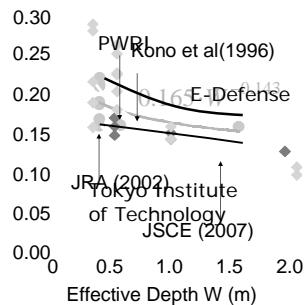
Strains of Ties



Concrete Shear Reached the Maximum before Ties Started to Resist Shear

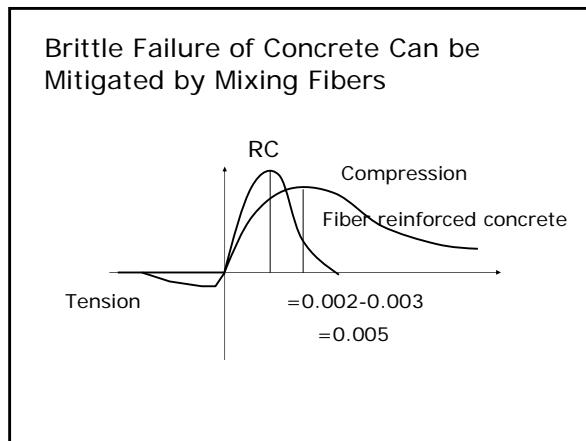


Size Dependence of Shear Strength of Concrete under Dynamic Loading

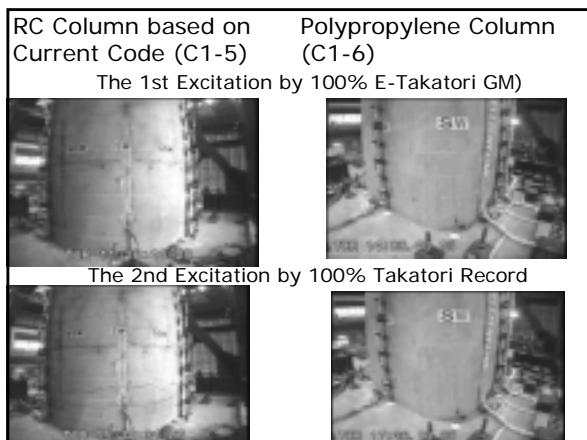
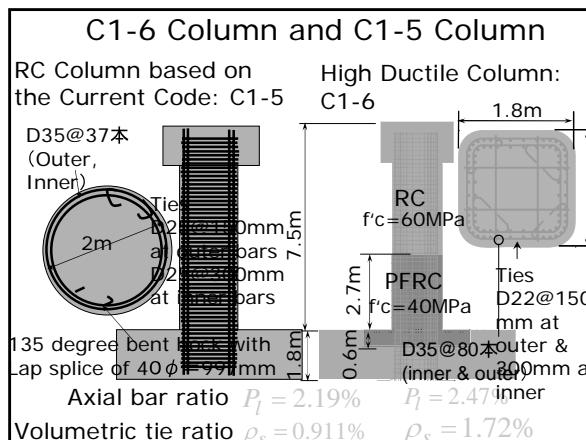
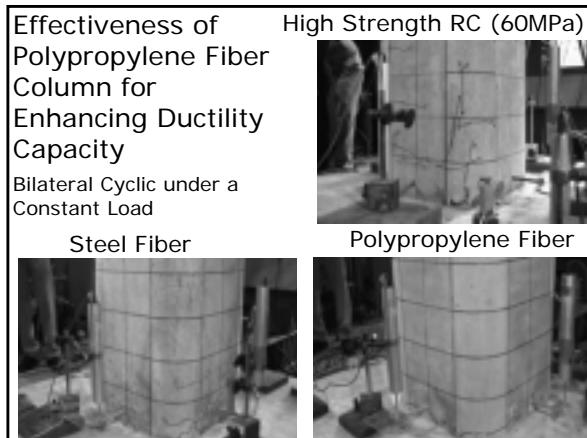
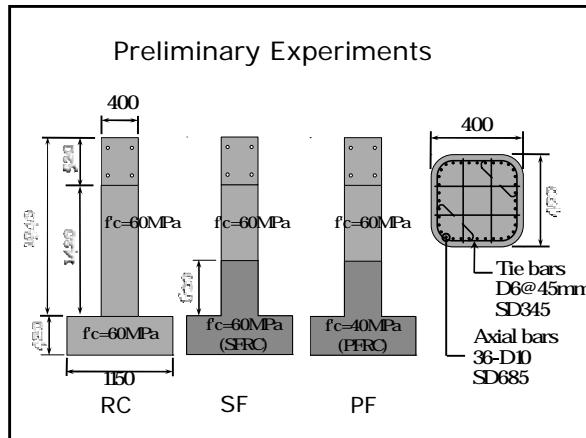


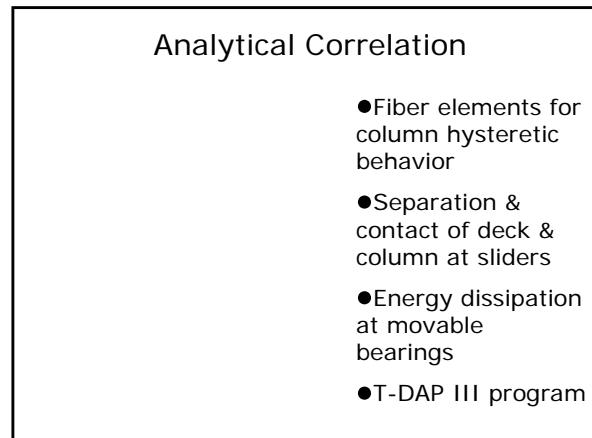
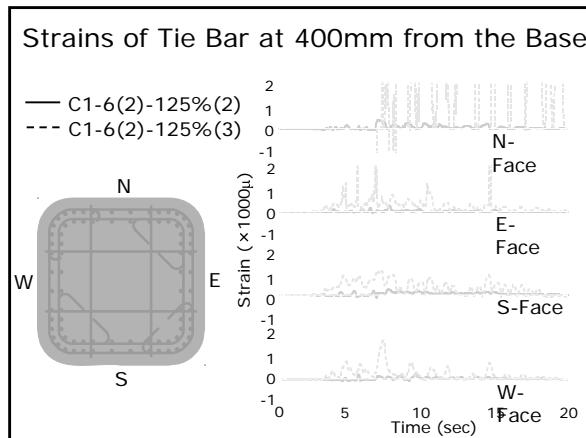
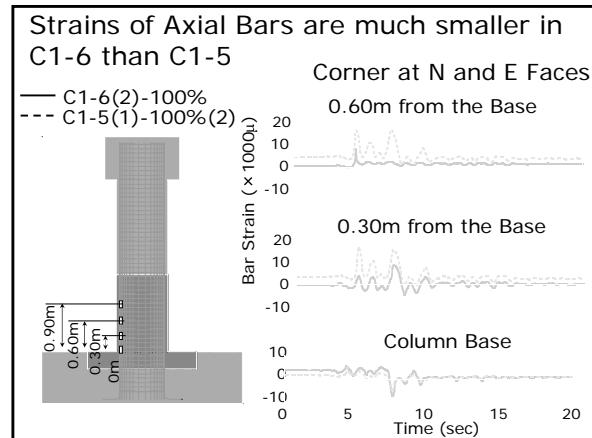
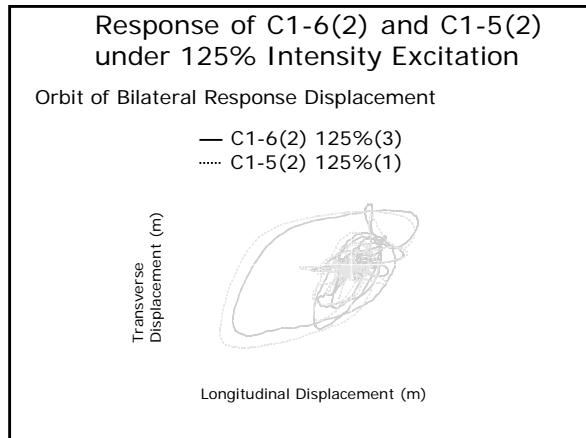
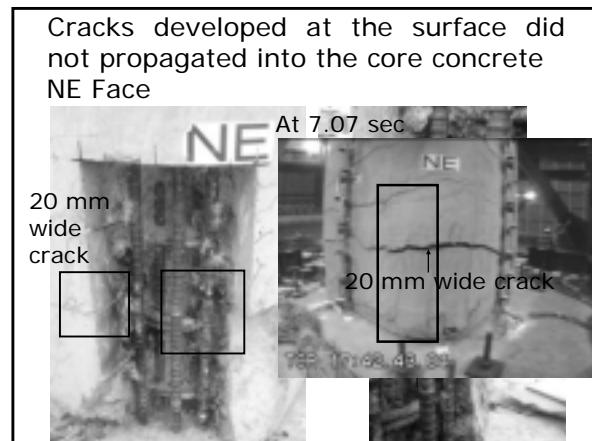
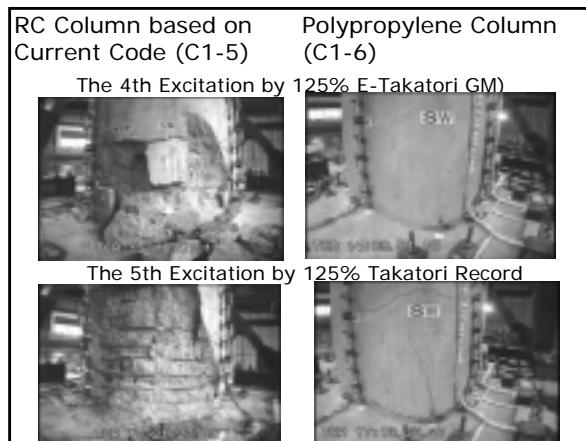
Next Generation Ductile Column

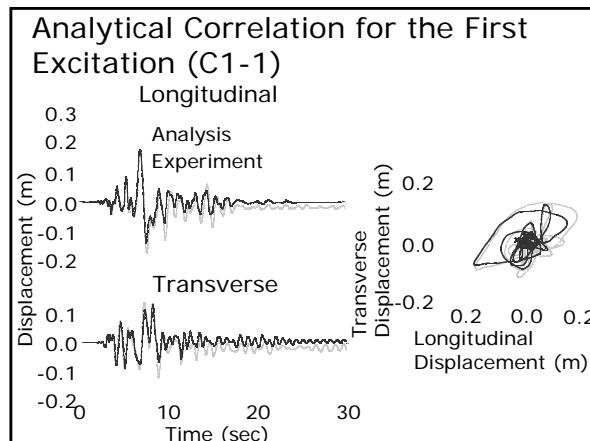
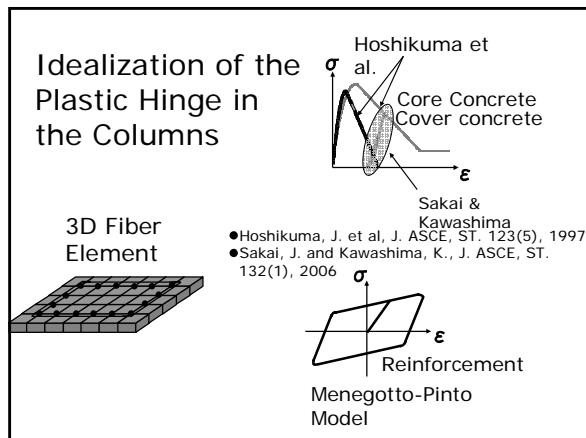
- C1-5 column which was designed based on the current design code performed without significant deterioration of flexural strength until 8% drift excitation.
- However damage was extensive when it was subjected to repeated (long duration) excitation which was stronger than the design ground motion
- More stable and ductile column which can realize "damage free bridge" is expected.



FRC	Steel Fiber Reinforced Concrete (SFRC)	Polypropylene Fiber Reinforced Concrete (PFRC)
Concrete matrix	R	H m
Fiber Type		P
Diameter	0.55 mm	0.0426mm
Length (mm)	30	12
Tensile strength (N/mm ²)	1100	482
Volume by weight	1.0 %	1.5 %

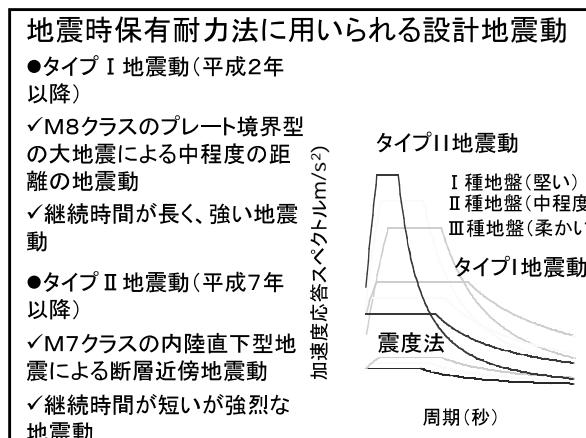






Summary

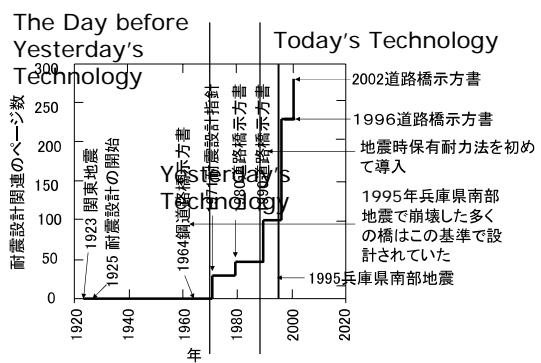
- Four excitation experiments on C1-1 (a typical 1970s flexure dominant column), C1-2 (a typical 1970s shear failure dominant column), C1-5 (a typical column designed based on the current code) and C1-6 (a new-generation column which directs to implementation to "damage-free bridges") were successfully conducted in 2007-2010.
- The experimental data are very accurate, and they can be used as a benchmark data for a wide range of analysis.
- Many new findings were obtained, including the lateral confinement by multi-layered hoops, flexural deformation at the plastic hinge, and the concrete shear capacity of concrete



兵庫県南部地震の教訓は?

- 地震被害の原因は?**
 - ✓ 強力であった断層近傍の長周期パルス地震動
 - ✓ 橋脚を中心とする主要構造部材のじん性不足
- 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つたか**
 - ✓ 百聞は一見にしかず。逆に言うと、人は見ていない現象は信じられないもの
 - ✓ 経験したことのない現象に対する洞察力不足

世界一流とはいっても、歴史の浅い耐震技術



我が国に基幹インフラを支える耐震性の低い橋梁

