福島県建築安全機構　建築構造講習会

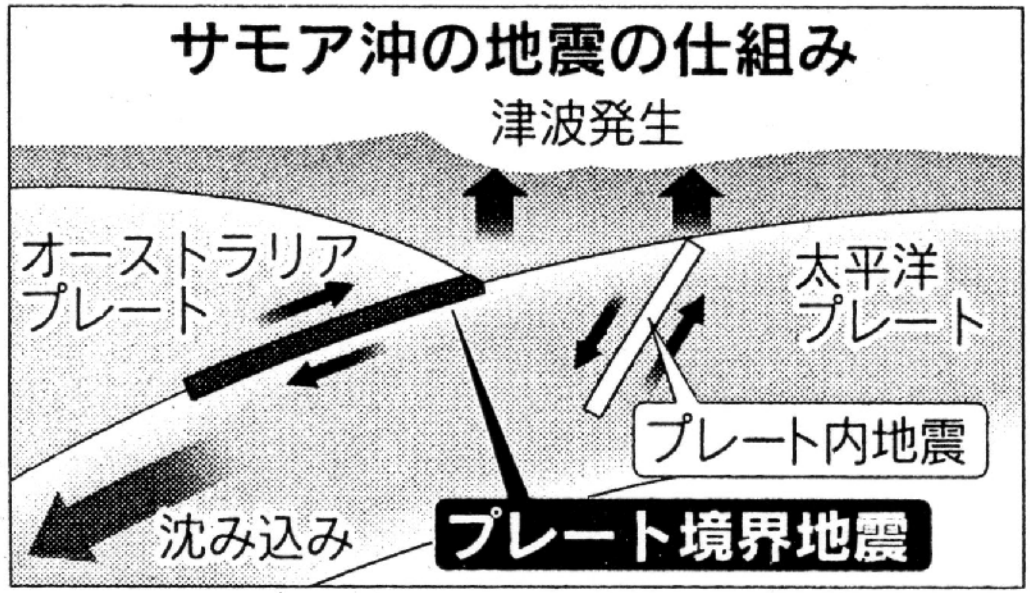
耐震診断と耐震改修の課題

・耐震診断判定および耐震改修評価の動向
・施設等活用方針策定時の留意点について

2010年10月7日

日本大学工学部建築学科
教授　浅里　和茂

スラブ内地震
《2009年サモア沖地震のメカニズム》



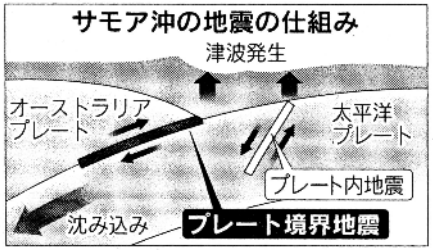
2010年（平成22年）8月19日（木曜日）　☆13版　社会　34

昨年9月のサモア沖地震

大地震2回、同時発生か

昨年9月、最大14㍍の津波のため200人近くが犠牲になったサモア沖の地震は、メカニズムの違うマグニチュード（M）8級の地震が2回、ほぼ同時に起きていたと、ニュージーランドと、米仏の研究チームがそれぞれ19日付の英科学誌ネイチャーに発表した。

サモア沖では、オーストラリアプレート（岩板）の下に太平洋プレートが沈み込む構造。当初は、太平洋プレートの内部でM8程度の正断層型の地震が起きたと考えられていた。



日本では1933年に北海道や東北地方の太平洋沿岸で大津波を引き起こした「昭和三陸地震」が、プレート内の正断層型の地震として知られている。東京大地震研究所の佐竹健治教授は「同様のこと（同時発生）が三陸沖でも起きる可能性もある」と指摘している。

三陸沖での可能性 指摘も

ニュージーランドなどのチームは、全地球測位システム（GPS）の地震前後のデータと、津波の波形データを分析。2つのプレートの間でゆっくりとしたプレート境界地震が起きた数分後に、プレート内で地震が起きたと発表した。

一方、米仏のチームは、複数の地震波のデータを解析。プレート内地震が先に起きて、これがプレート境界の地震を引き起こしたとの結論。2つの地震の起きた順序については結論が逆になった。

2010年8月19日
日本経済新聞

東海・東南海・南海地震

《3地震の同時発生による広域災害》

一部160円 日本経済新聞
2010年（平成22年）8月27日（金曜日）

最悪シナリオ 遅れる備え

東海・東南海・南海 同時に発生

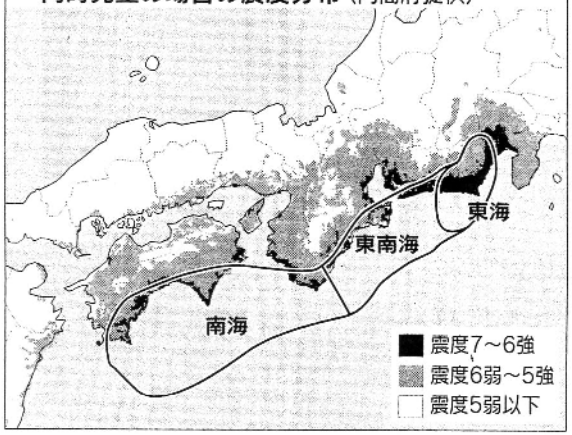
超広域地震 ㊤

「防災の日」の9月1日に政府は初めて、東海、東南海、南海地震の同時発生を想定した防災訓練を繰り広げる。周期的に繰り返されてきた3地震の連動を懸念する声は専門家から相次いでおり、発生すれば関東から九州にかけての「超広域災害」になることは必至だ。巨大地震への備えを検証する。

「なぜこんなに食い違うのか。根拠を示してほしい」。今年4月下旬、和歌山県の防災担当者は内閣府が公表した3地震の同時発生時の被害想定

議論より訓練先行

地形図で地震のメカニズムを説明する古村教授（東京都文京区の東大地震研究所）

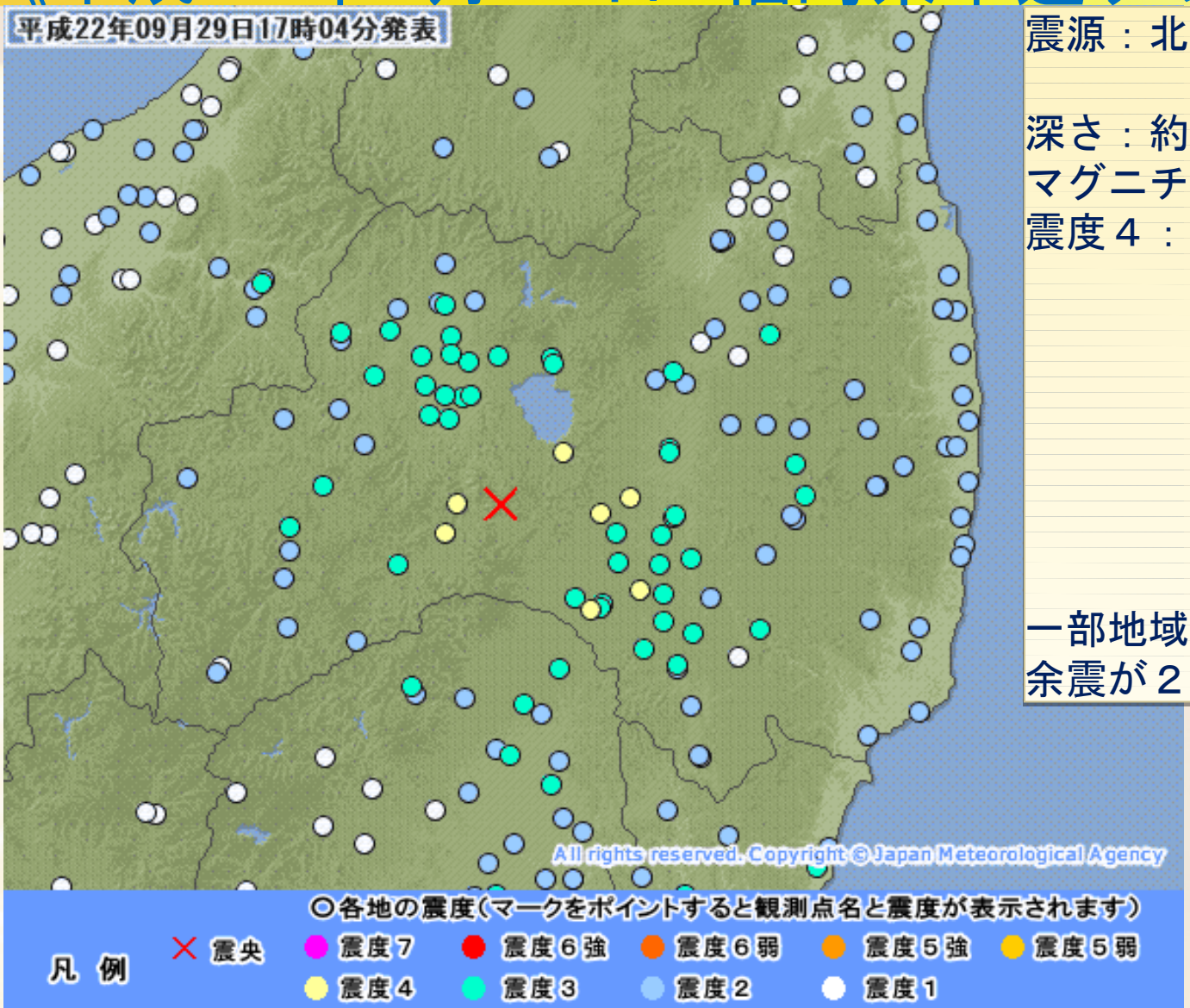


想定される東海、東南海、南海地震の震源域と同時発生の場合の震度分布（内閣府提供）

2010年8月27日
日本経済新聞

内陸型地震

《平成22年9月29日　福島県中通りの地震》



震源：北緯37.3度，東経140.0度
（羽鳥湖の北西）
深さ：約20km
マグニチュード：5.8
震度４：郡山市湖南町
白河市新白河
須賀川市長沼支所
須賀川市岩瀬支所
泉崎村泉崎
下郷町高陟
下郷町塩生

一部地域で震度５弱
余震が２０回以上

気象庁HP

建築構造講習会

耐震診断と耐震改修の課題

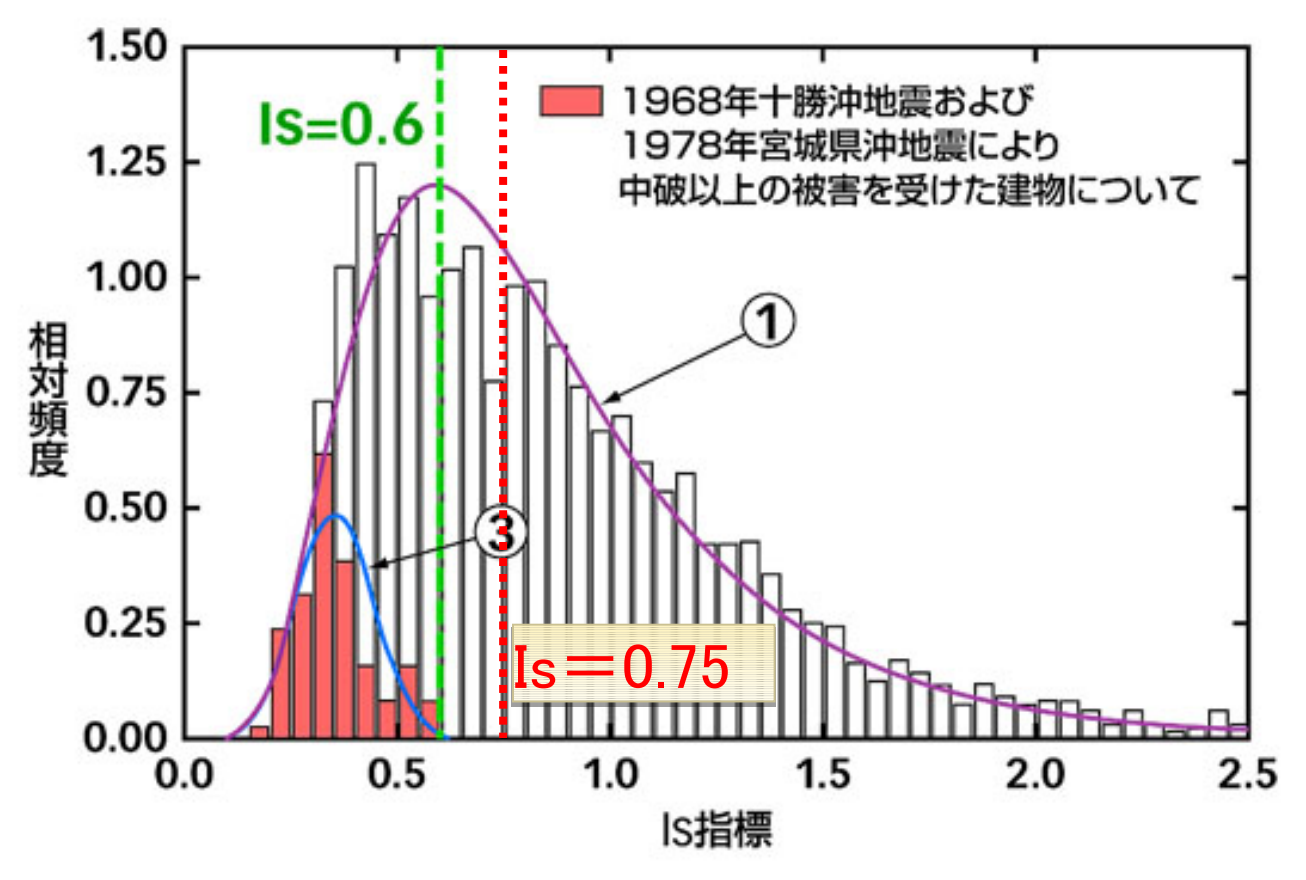
耐震診断・改修報告書を読む

地震発生時間

年	地 震 名	月 日	時 刻
1978	宮城県沖地震	6月12日(月)	17:14
1983	日本海中部地震	5月26日(木)	11:59
1993	釧路沖地震	1月15日(金)	20:06
1993	北海道南西沖地震	7月12日(月)	22:17
1994	三陸はるか沖地震	12月28日(水)	21:19
1995	兵庫県南部地震	1月17日(火)	5:46
2004	新潟県中越地震	10月23日(土)	17:56
2005	宮城県南部の地震	8月16日(火)	11:46
2007	新潟県中越沖地震	7月16日(月)	10:13
2008	岩手宮城内陸地震	6月14日(土)	8:43
2008	岩手県沿岸北部の地震	7月24日(木)	0:26

Is値の意味

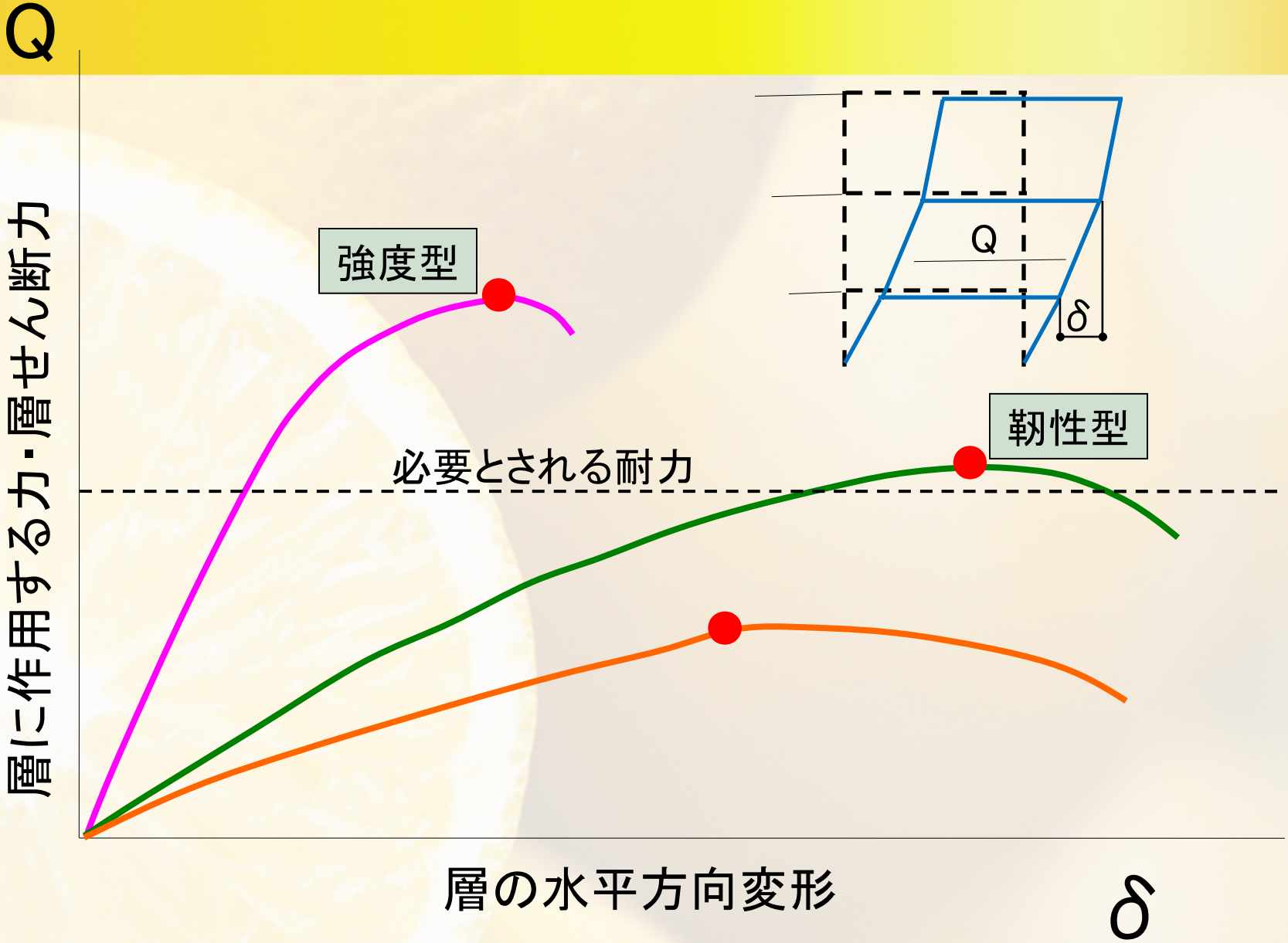
《*Is*値：構造耐震指標》



Is値を0.6以上とすれば，中破以上の被害を受ける恐れが小さい

建物の崩壊を防ぐ

耐震性能とエネルギー吸収能力



Is値（構造耐震指標）の意味

《強度に関する指標と靭性に関する指標の積となっている》

RC構造

$$Is = E_0 \cdot S_D \cdot T$$

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i}\left(C_1 + \sum_j \alpha_j C_j\right) \cdot F_1$$

E_0:保有性能基本指標

S_D:形状指標

T:経年指標

C:強度指標

F:靭性指標

鉄骨構造

$$Is = \frac{E_0}{F_{es} \cdot Z \cdot R_t}$$

$$E_0 = \frac{Q_u \cdot F}{W_i \cdot A_i}$$

E_0:耐震性能を表す指標

F_{es}:剛性率および偏心率によって定まる係数

Z:地域係数

R_t:振動特性係数

Q_u:保有水平耐力

W_i:i層が支える重量

A_i:層せん断力係数の分布係数

F:靭性指標

判定資料

RC構造

鉄骨構造

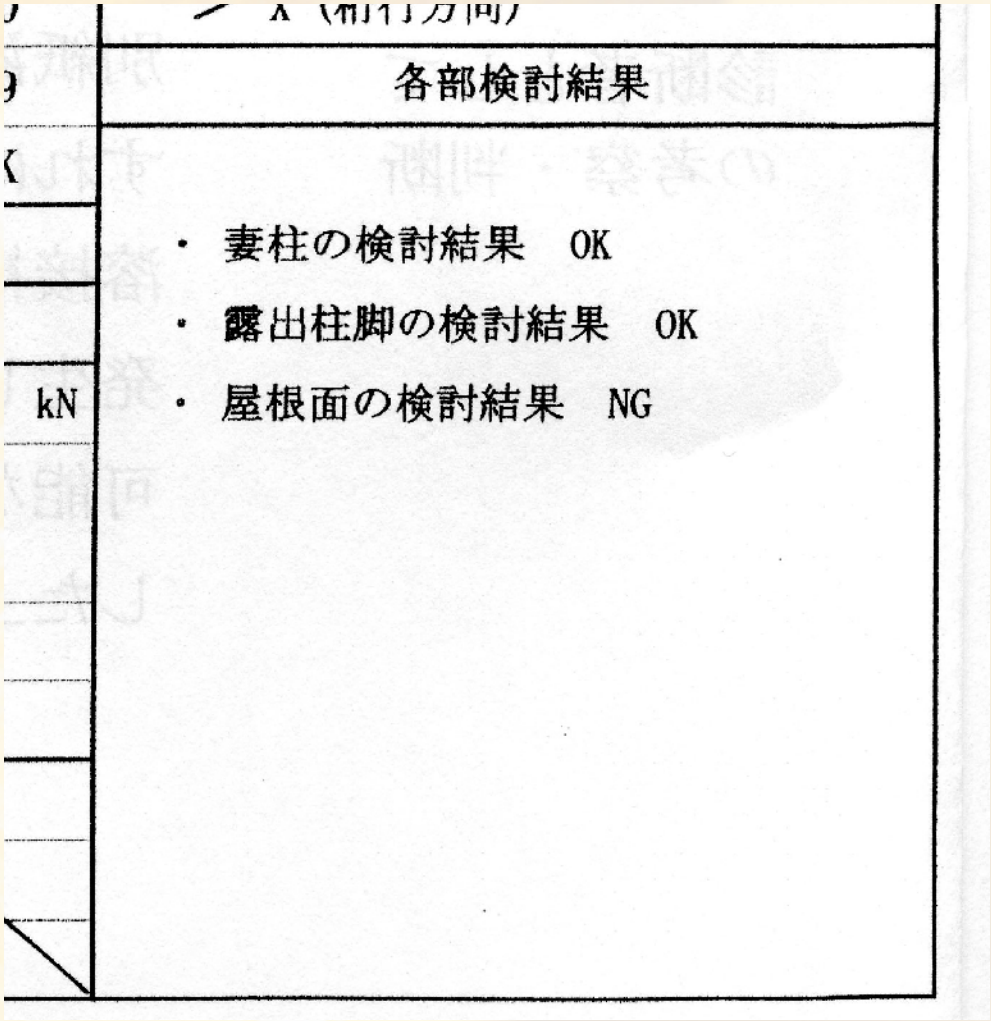
判定資料の見方（RC構造）

階	方　向	X							
	偏心率　l	0.001 ≦0.15　判定　OK							
	（剛/重）比 n	1.36 ≧1.30　判定　NG							
2	極脆性柱があるか	(有)・無	有の破壊形式						(有
	第２種構造要素があるか	有・(無)							有
階	Eoを決定した式　最大F値	(5)　式　maxF　0.80							
高	平均重量Wo=　8.9 kN/m^2	耐震壁　：　有・(無)							耐
3.75	耐震壁のせん断応力度　τ	N/mm^2							
m		Eo	S_D	T	Is	C_TS_D	判定	備考	
	各指標値	0.31	0.79	0.93	0.23	0.31	NG		1
	F=1.00　のときの値								

判定資料の見方（鉄骨構造）

階	方向				X		
2階 高3.00m	成層・非成層		重量W	A フレーム	成層・非成層		755.5 t
	極脆性柱があるか				有・無	有の破壊形式	
	第2種構造要素があるか				有・無		
	Eoを決定した式						
	平均重量Wo= 2.70 kN/m2				耐震壁: 有・無		
	Qu	F	Ai		118.6	1.300	1.428
	Eo	Fes	Z		0.143	1.500	0.9
	Is	q	判定		0.106	0.326	NG

判定資料の見方・特記事項



各部検討結果

- 妻柱の検討結果　OK
- 露出柱脚の検討結果　OK
- 屋根面の検討結果　NG

F値に関する注意事項

○F値0.8は，脆性破壊，せん断破壊

○耐震診断の現状では，RC構造のF値は1.0が多い

○鉄骨構造でF値が1.0となるのは，接合部・溶接の不良

○RC構造でF値が1.0より大きくなる場合

- 変形が大きくなる
- ひび割れ等の被害は想定される
- 一部の部材が損傷を受ける可能性
- ガラスなどの非構造部材の被害

耐震診断概要書

《計算書ではなく説明資料である》

§0. 耐震診断概要書

	受　付	審　査	是正通知	是正確認	判　定　会	判定書交付
月日						
担当						

1) 建物概要	目　的	耐震診断　・◎　改修計画　・　改修実施		
建築物名				
所在地				
面　積	延面積　715 m²	建築面積　715 m²		地階面積　m²
建築年月,構造,階数	建築年 S56年	経過年数　29年	構造 (S)、RC、SRC	階数 地上 2 階 塔屋 階
基礎種別	直接基礎（べた、布、独立）不明	杭基礎（木、RC、(PC)不明		地下 0 階
	平　面　（ほぼ(整)形、不整形）		立　面　（ほぼ(整)形、不整形）	
構造上の特徴	構造形式　（ラ(ー)メン、ブレース、耐(震)壁）			
	極脆性柱　(有)・無）　下階壁抜け　（有・(無)　平面柱抜け　（有・(無)			

2) 診断手法			
診断基準	防協　RC　(2)　次、　防協　S、SRC	文(科)省基準、	告示（2089号）
電算ソフト	メーカー名　ユニオンシステム	ソフト名　SuperBuild/FA1　SS3	
直接担当者	氏　名		受講番号:　第126号
連絡先住所(TEL/FAX)			
診断実施年月	平成　21　年　11　月		
材料調査	コンクリート調査（有、(無)	診断用コンクリート強度　Fc　26 N/mm²	
		設計時コンクリート強度　Fc　21 N/mm²	
	現場調査結果調査数		
（診断使用値）	鉄筋調査（有、(無)　鉄骨調査（有		
判定指標	Iso=　0.7　（防災協会		
	割り増しがある場合コメント		
診断方針 モデル化について	**診断建物の特徴** 本建物は、昭和５６年建 階ＳＲＣ造のＲ２タイプ 鉄骨造となっており、Ｒ キスパンションジョイン 基礎は、既成コンクリー		

- 診断建物の特徴
- 現場調査から診断に反映した部分
- 診断者判断によりモデル化を考慮した部分
- 判定会にて審査したい部分
- 補強方針
- 総合所見

耐震診断報告書の捉え方

《診断対象建物の弱点を知る》

・耐震診断判定資料　・耐震診断概要書　・総括表　・診断考察

RC構造

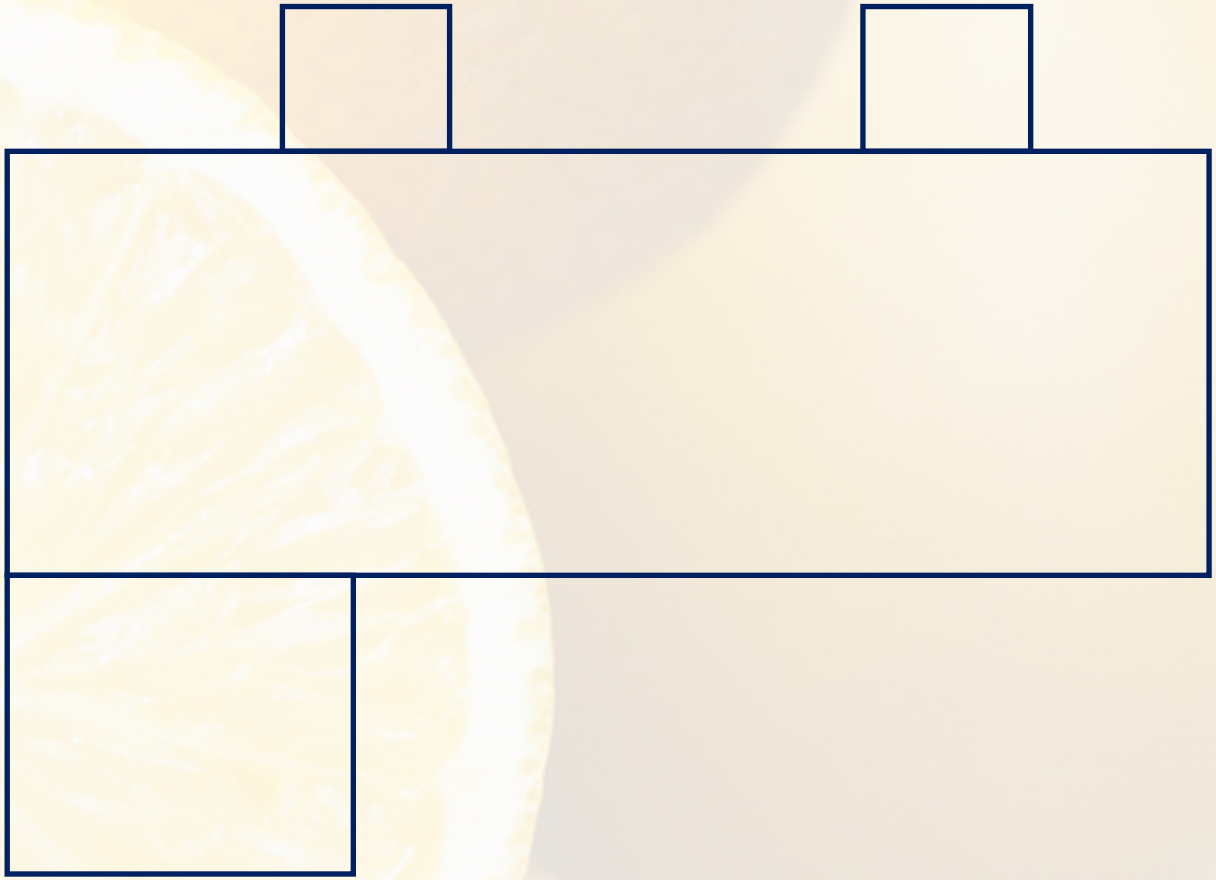
〇建物の全体形状・スパン・ゾーニングの影響
〇柱のサイズ・主筋量・フープの配筋
〇窓などの開口部による短柱，極脆性柱の存在
〇耐震壁の量・配置（下階壁抜け）・ブロック造か？

鉄骨構造

〇接合部や溶接は健全か，柱脚・アンカーボルトは？
〇鉄骨断面のサイズ，形鋼か組立材か？
〇ブレースの配置・取付位置
〇積雪などの荷重の影響

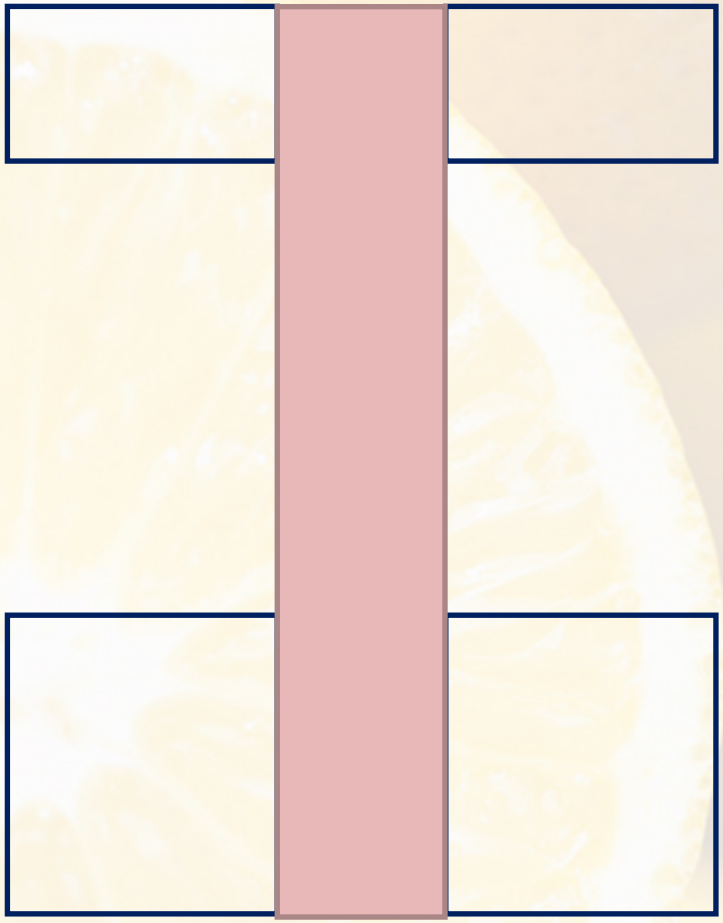
耐震診断報告書の捉え方

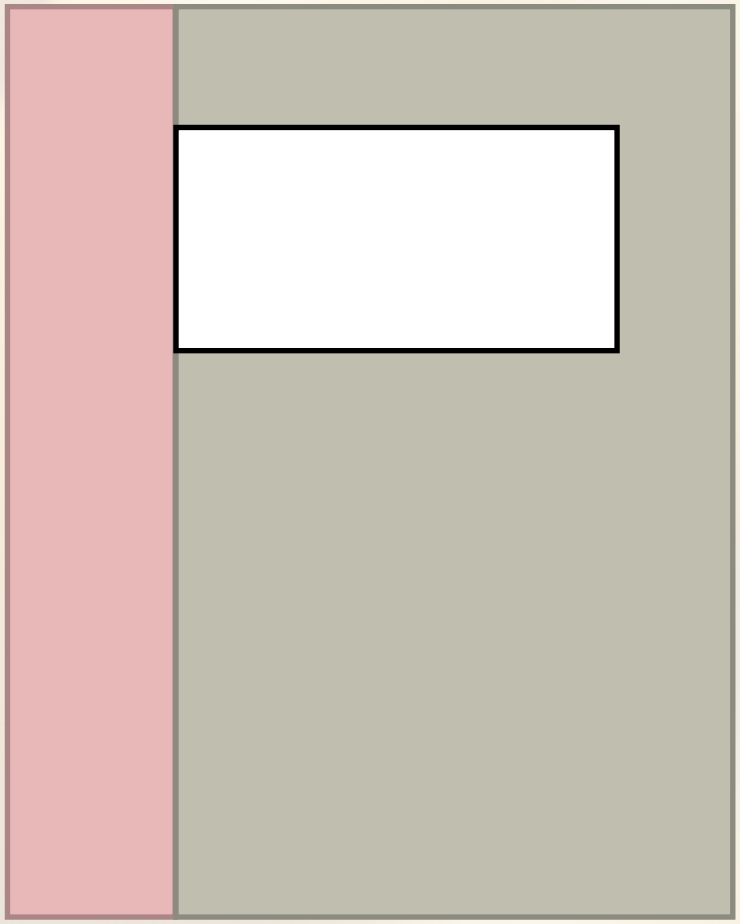
《RC構造:ゾーニングの影響》



耐震診断報告書の捉え方

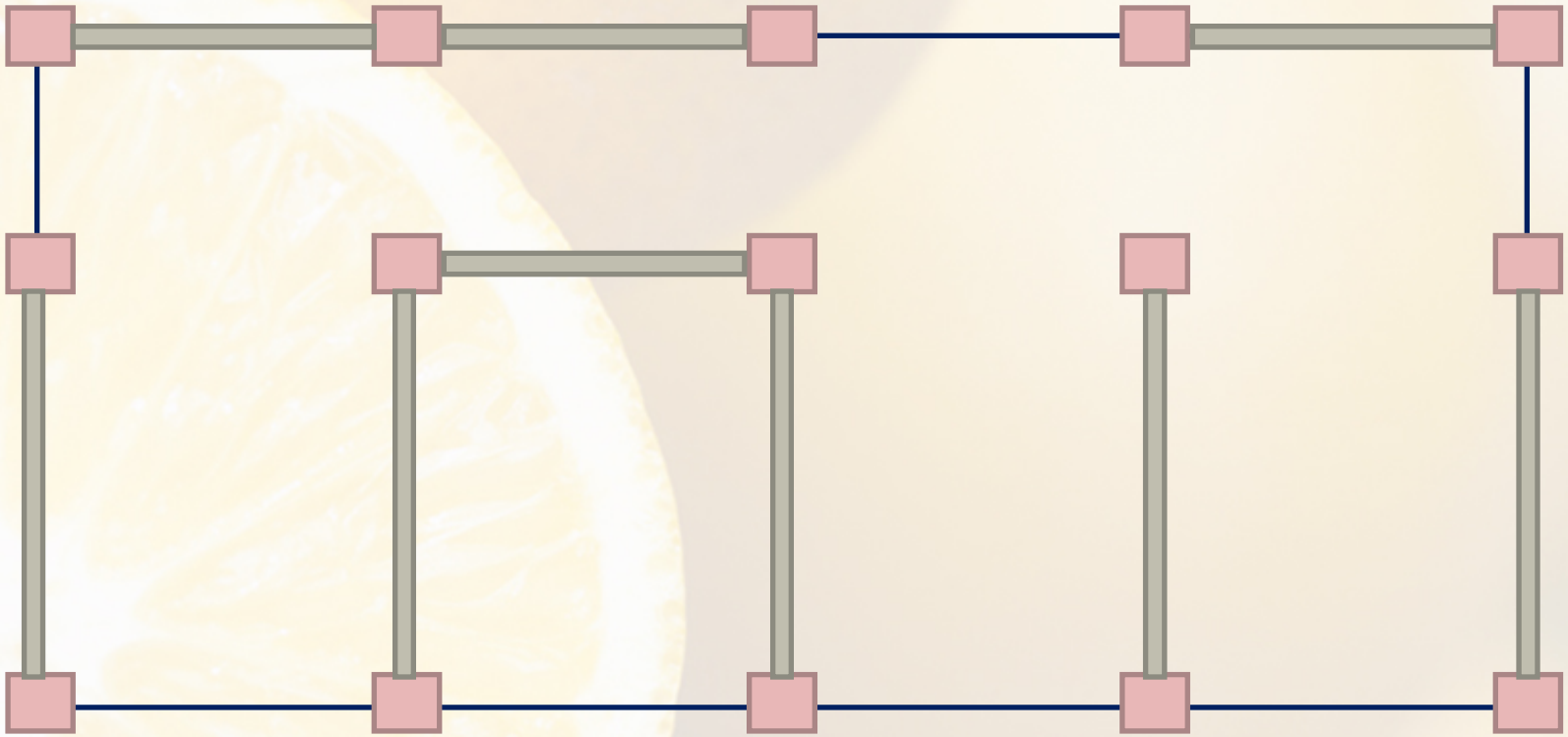
《RC構造：短柱・極脆性柱》





耐震診断報告書の捉え方

《RC構造：耐震壁の量と配置》



耐震診断報告書の捉え方

《鉄骨構造：接合部》

接合部の不良によるものが多い

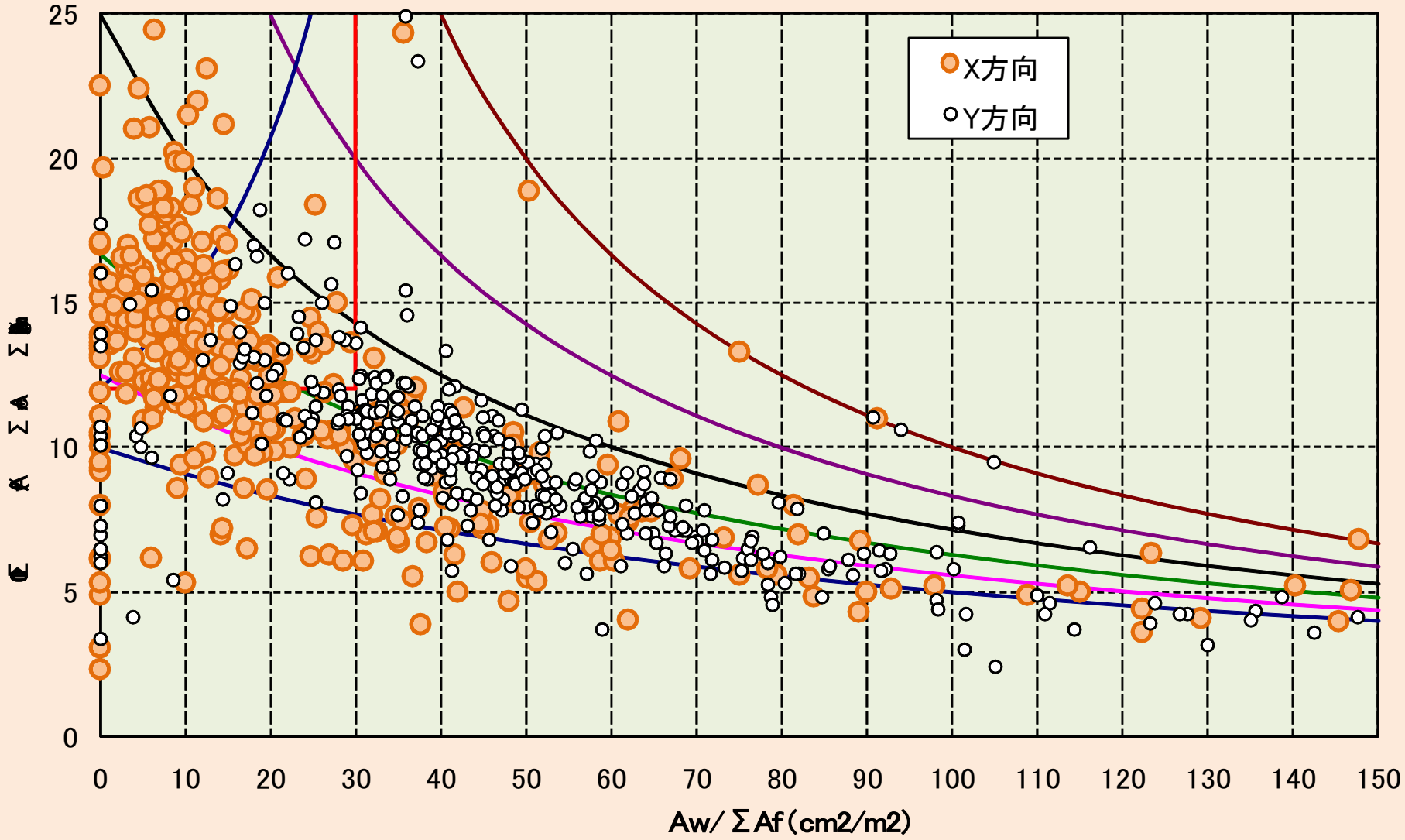
建築構造講習会

耐震診断と耐震改修の課題

耐震診断データより分かること

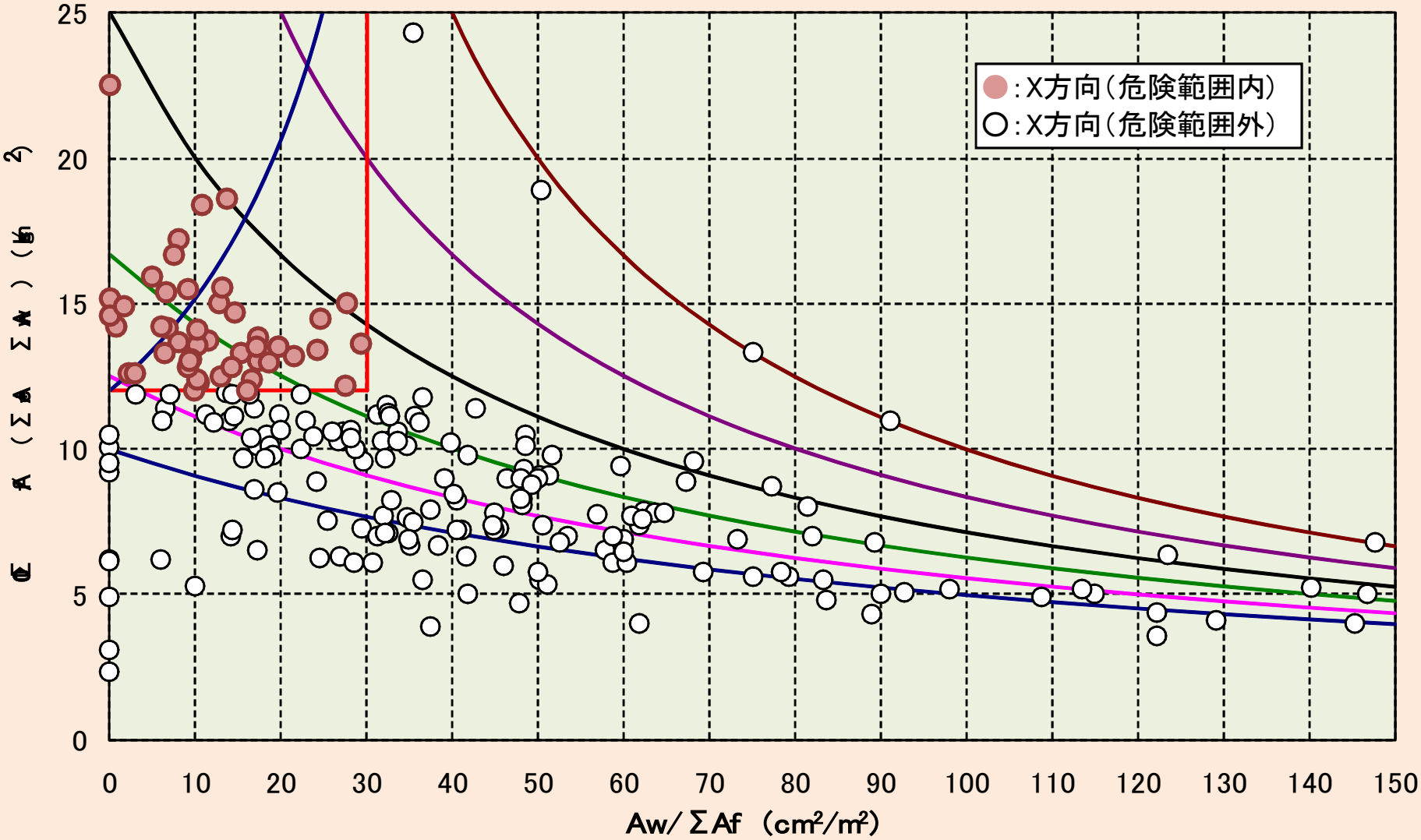
診断報告書の捉え方

《志賀マップ：1階全体　XY方向》



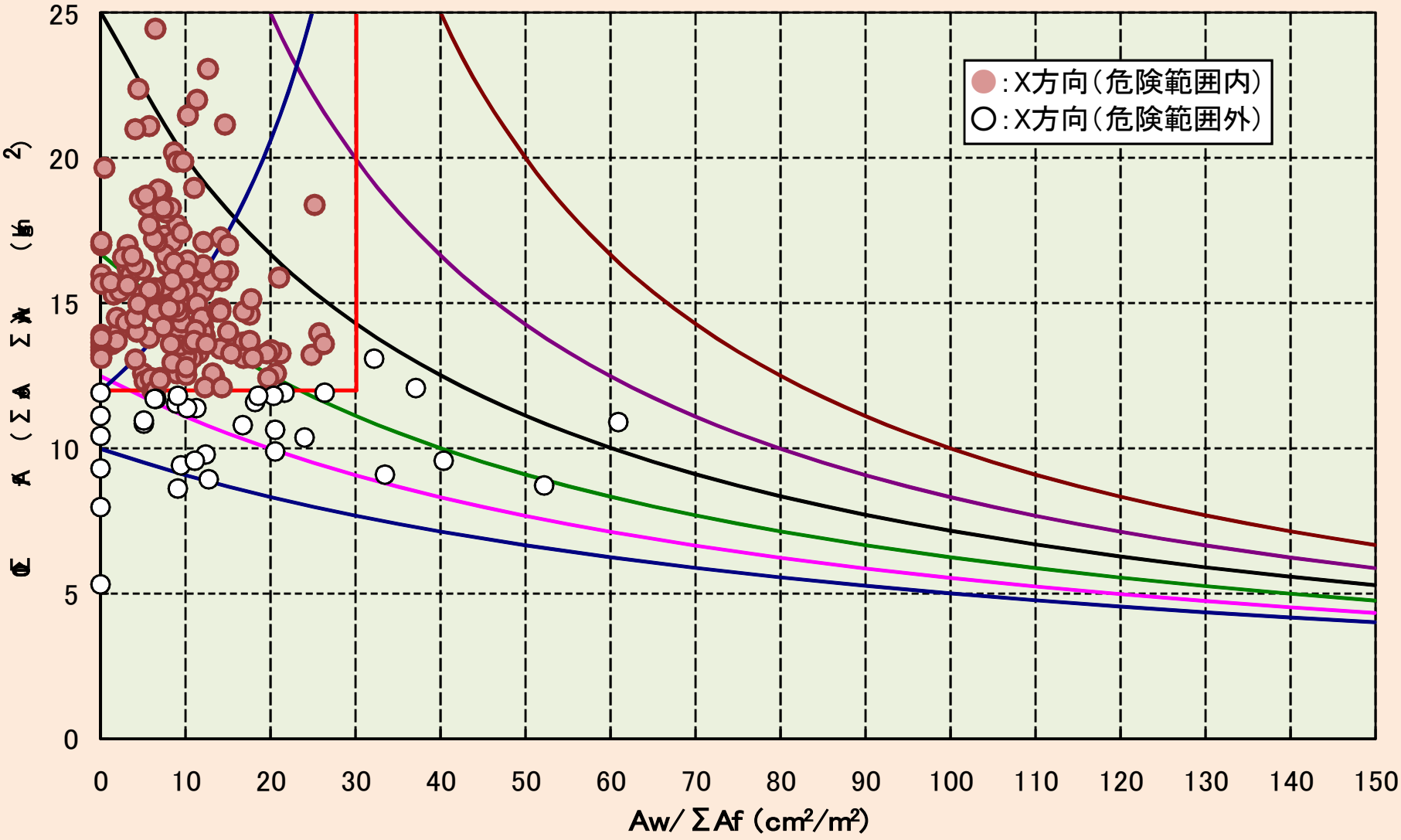
診断報告書の捉え方

《志賀マップ：1階X方向　Is0.6以上》



診断報告書の捉え方

《志賀マップ：1階X方向　Is0.6未満》



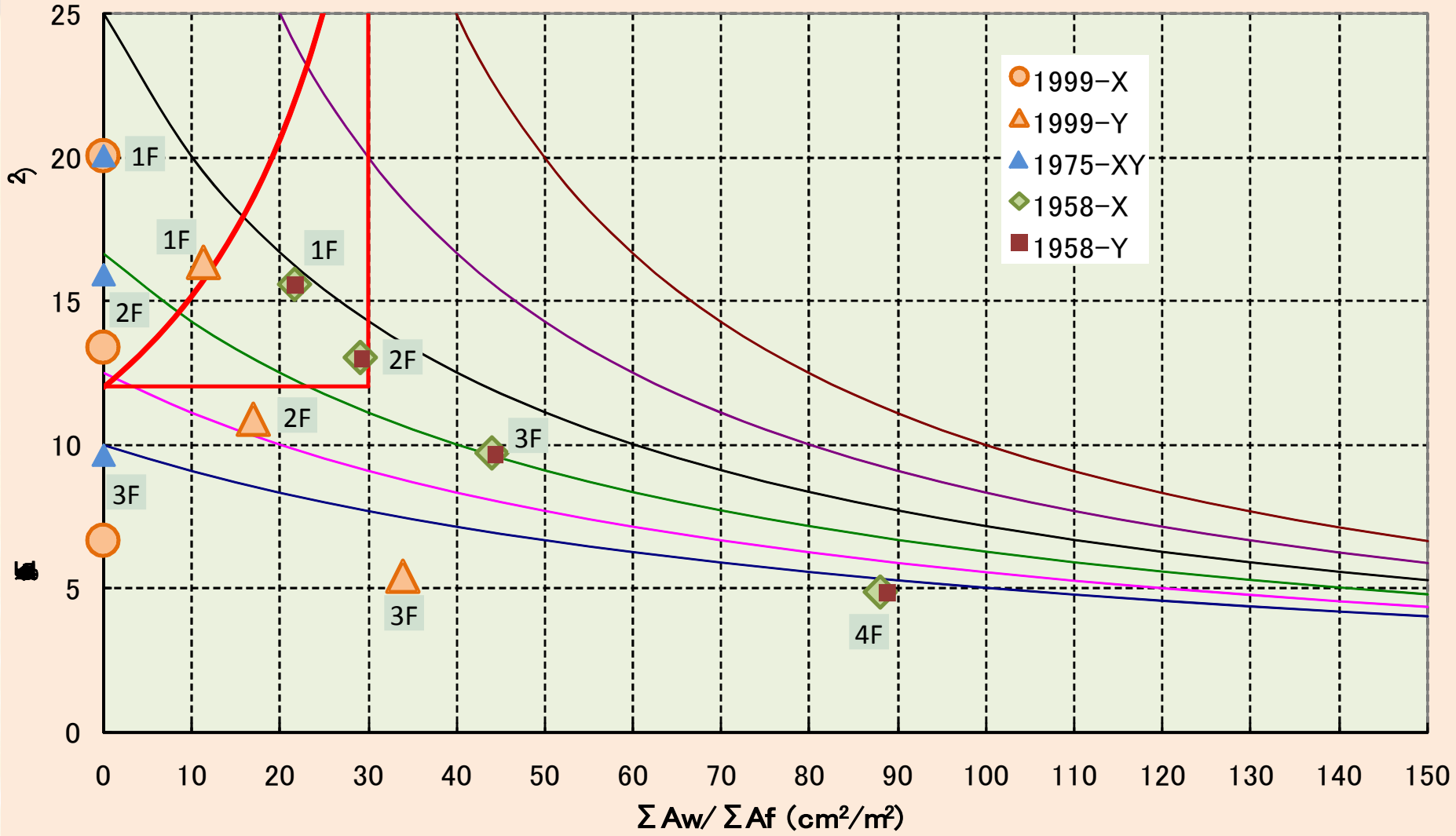
RC規準設計例の耐震診断試行

《設計規準の違いによるIs値》

項目	1999年版	1975年版	1958年版
構造・規模	RC構造・3階	RC構造・3階	RC構造・4階
建物高さ(m)	10.73	10.23	13.65
基準階面積(m^2)	577.5	577.5	422.4
構造形式	X:純ラーメン Y:耐震壁付ラーメン	X:純ラーメン Y:純ラーメン	X:耐震壁付ラーメン Y:耐震壁付ラーメン
スパン(m)	5×3 ・ 7.0×5.5	5×3 ・ 7.0×5.5	4×3 ・ 6.7×5.5
Fc(N/mm^2)	24	18	18
柱断面(mm)	全階600×600	1F:600×600 2F:550×550 3F:500×500	1F:600×600 2F:550×550 3，4F:500×500
柱配筋	主筋:12ーD19 Hoop:D10@100	主筋:8ーD22 Hoop:9φ@100	主筋:8ー22φ Hoop:9φ@200
耐震壁厚さ(mm)	200	----------	150
耐震壁配筋	D10@200 ダブル	----------	9φ@200 シングル

RC規準設計例の比較

《設計例の志賀マップ》



設計法によるIs値の違い

《RC規準設計例の耐震診断　SD＝1.0》

階	方向	1999年版		1975年版		1958年版	
		Is値	F値	Is値	F値	Is値	F値
4階	X	-----	-----	-----	-----	1.26	1.00
	Y	-----	-----	-----	-----	1.35	1.00
3階	X	1.57	3.00	0.95	2.25	0.77	1.00
	Y	1.50	3.20	0.94	2.25	0.84	1.00
2階	X	1.16	3.00	0.52	1.50	0.61	1.00
	Y	1.05	3.20	0.51	1.50	0.75	1.00
1階	X	0.97	2.60	0.49	1.27	0.50	1.00
	Y	0.76	2.60	0.48	1.27	0.63	1.00

データのまとめ

- 志賀マップの有効性の確認と欠点
- 古い設計も悪くない→バランスの問題
- 靭性に期待するか強度に期待するか

建築構造講習会

耐震診断と耐震改修の課題

低強度コンクリート建物の取り扱い

低強度コンクリートの原因

・コンクリートの締固め不足

・レディミクストコンクリートへの加水

・コンクリート中への塩分の混入

×セメント量

低強度コンクリートが不安な理由

・低強度ではなく低品質

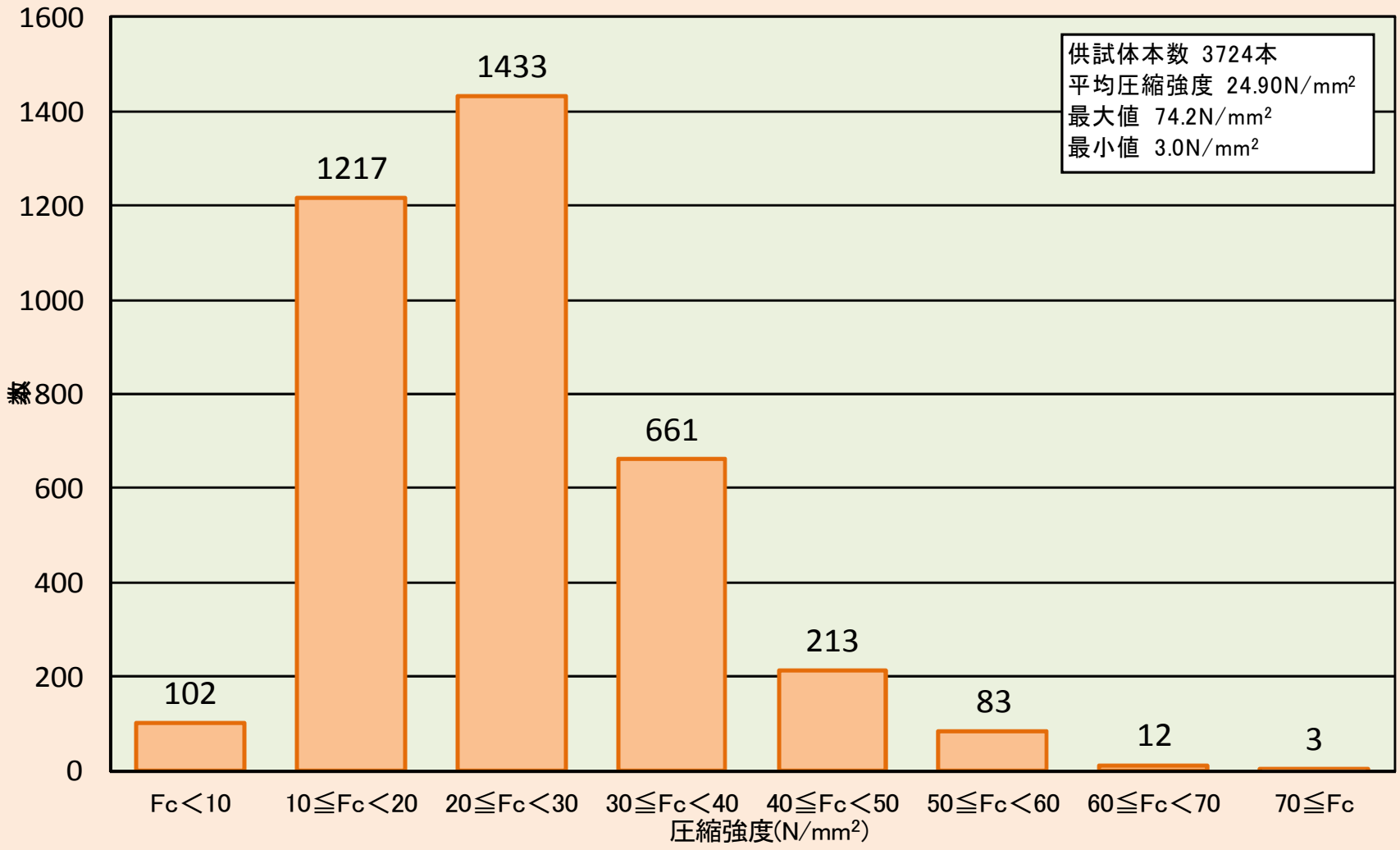
・性状が不明

・実験室で再現ができない

そもそも耐力式の適用範囲外である

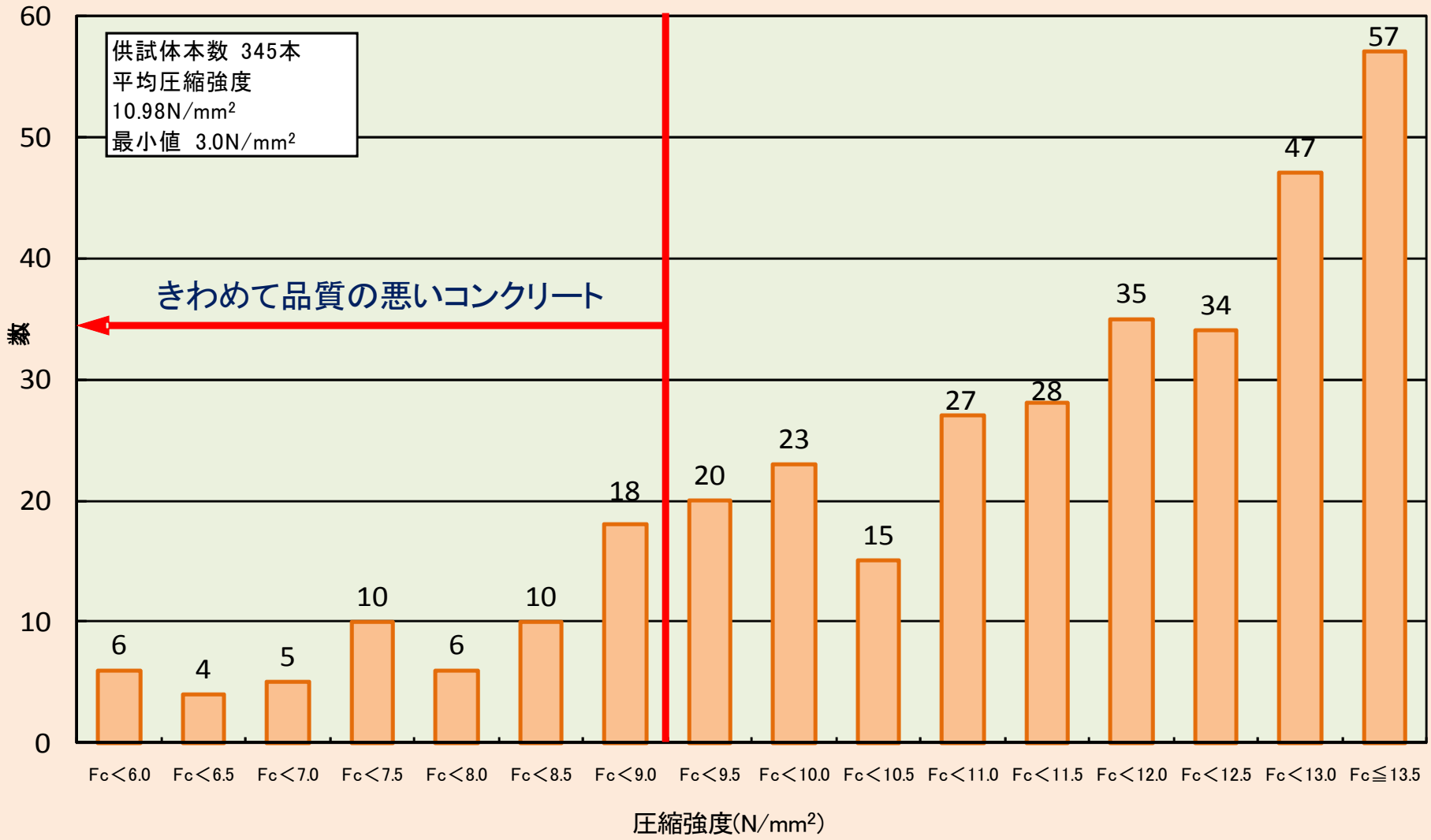
コンクリート強度分布

《コア供試体による圧縮強度》



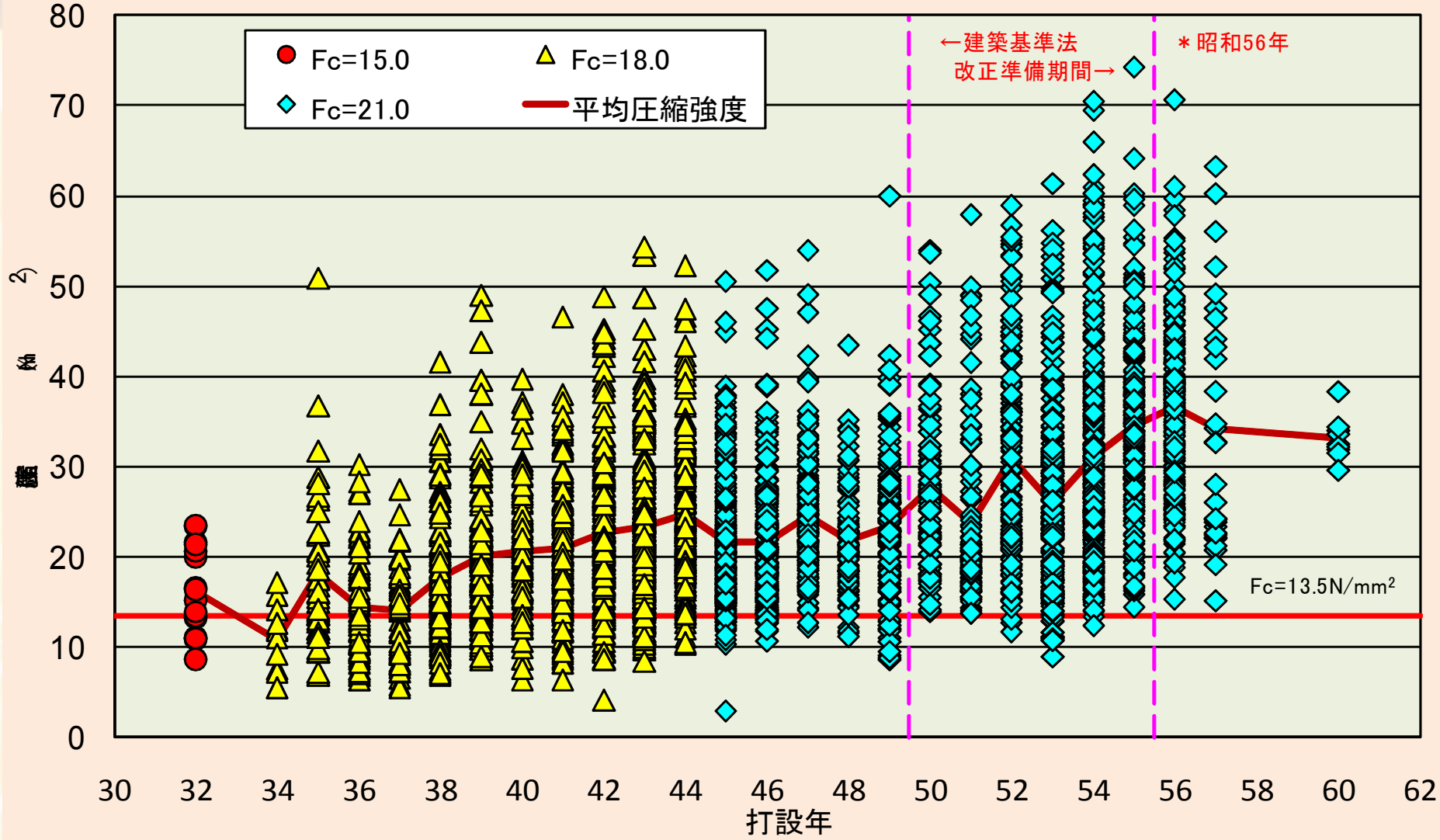
コンクリート強度分布

《コア供試体による圧縮強度　13.5（N/mm²）以下》



コンクリート強度分布

《打設年と圧縮強度の関係》



工学部2号館

《昭和31年建設　解体済　　低強度コンクリート》

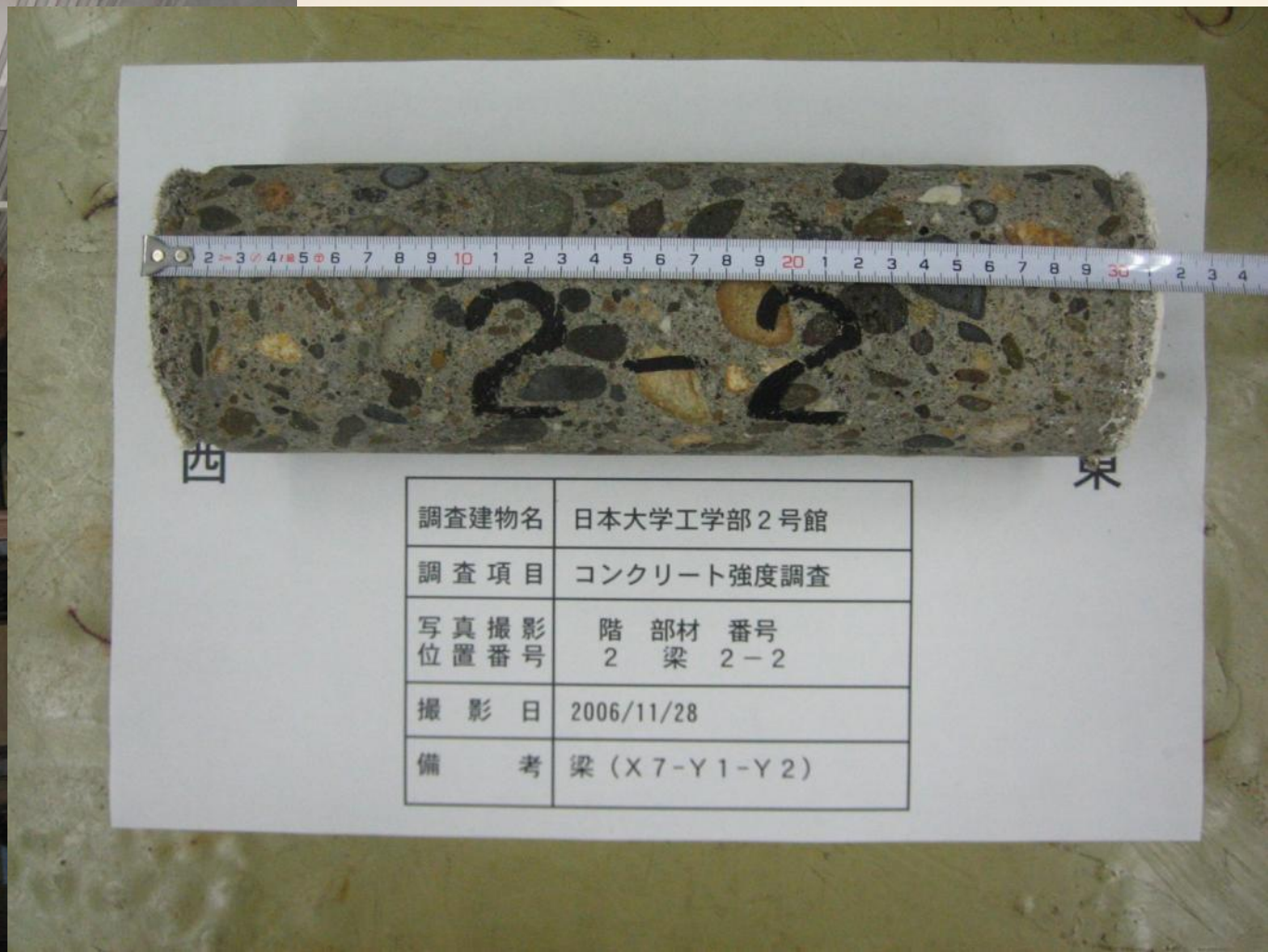
延床面積　2215m^2　　基準階面積　718m^2

Is（X）：1F 0.58　　2F 0.71　　3F 1.04

Is（Y）：1F 0.55　　2F 0.74　　3F 1.34

工学部2号館

《コンクリートコア採取位置と供試体》



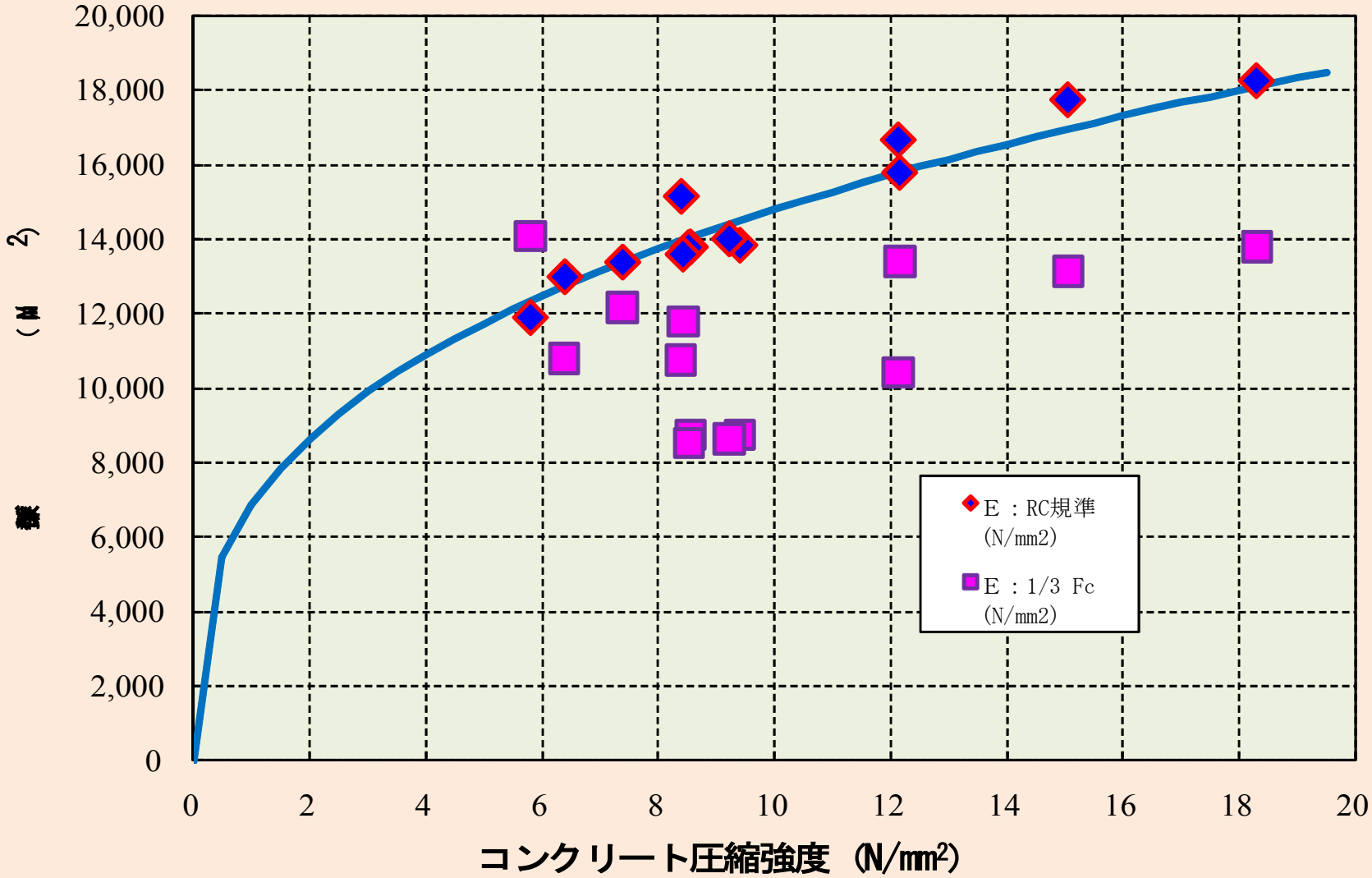
コンクリート強度

《廊下はりから採取》

採取階	圧縮強度 (N/mm²)	圧縮強度平均	標準偏差	推定強度
2F-1	15.06	9.85	3.70	8.00
2F-2	8.55			
2F-3	9.41			
2F-4	6.39			
3F-1	18.31	10.26	5.51	7.51
3F-2	5.80			
3F-3	8.52			
3F-4	8.43			
RF-1	12.16	9.86	2.19	8.77
RF-2	9.23			
RF-3	12.14			
RF-4	7.39			
RF-5	8.40			

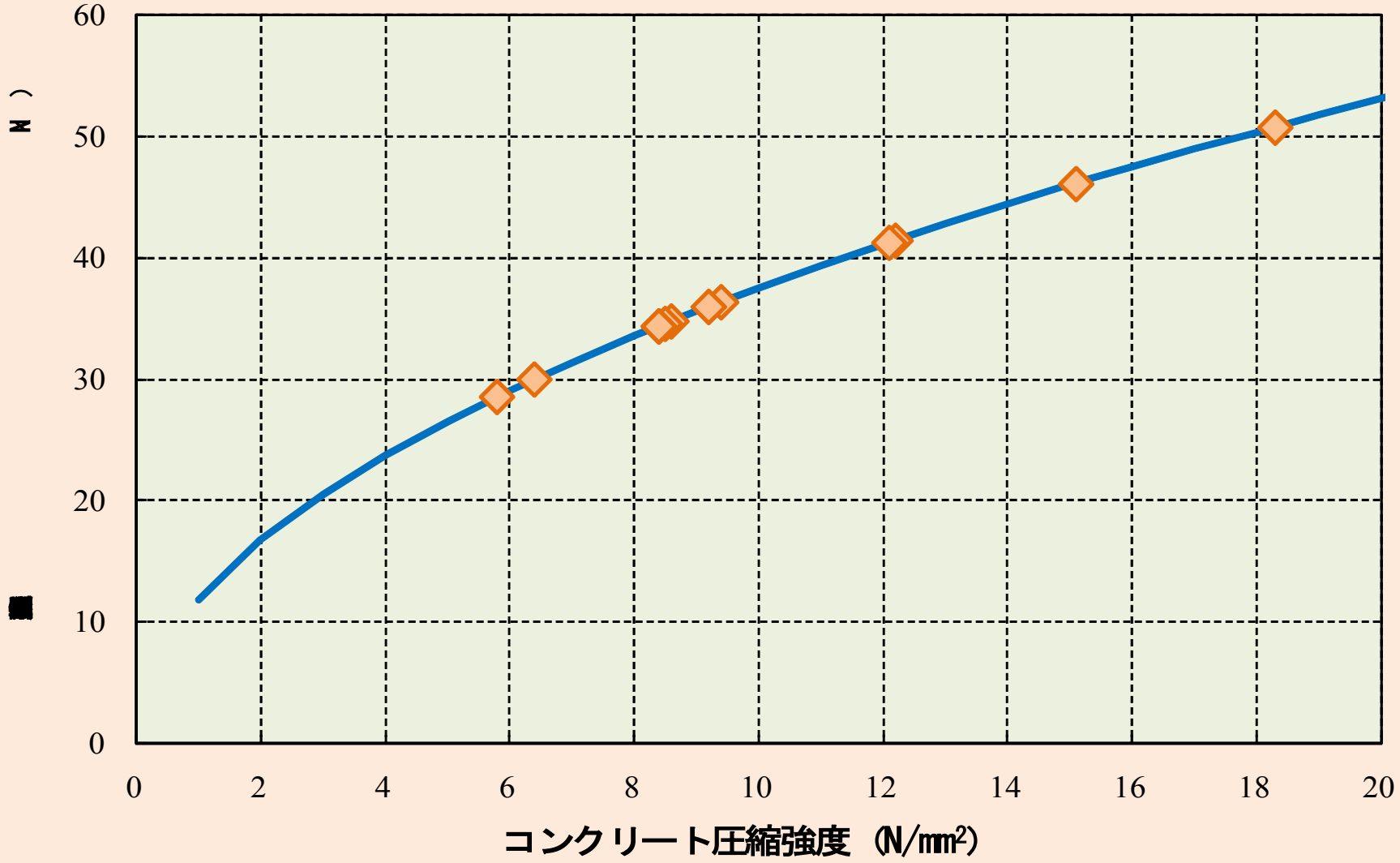
ヤング係数

《実測値はRC規準の算定式より低い》



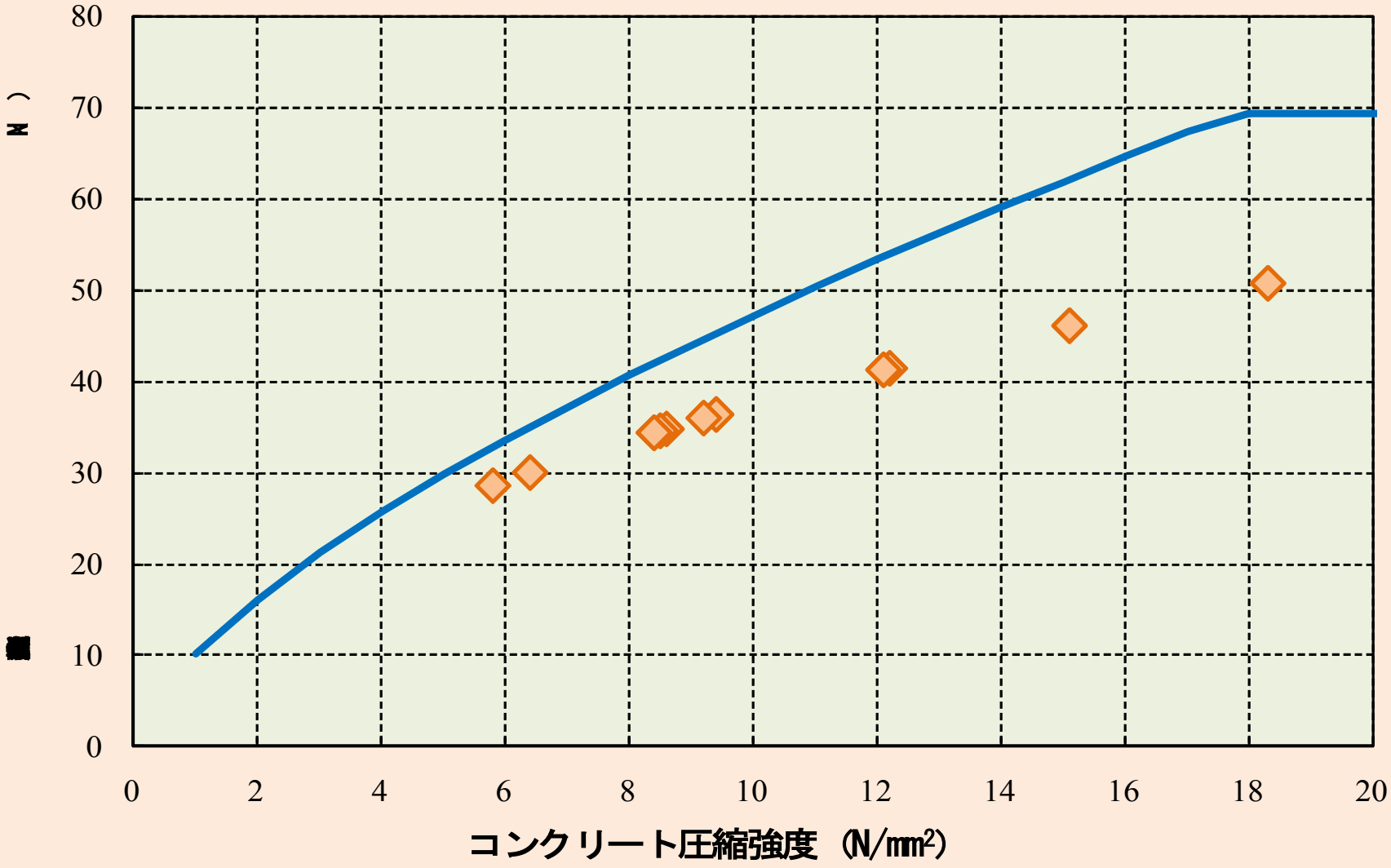
あと施工アンカーの引張強度

《ヤング係数の影響はないが，算定式は正しいか》



アンカーのせん断強度

《ヤング係数の低下により，せん断強度が低下》



鉄骨ブレース補強した低強度コンクリート学校校舎の耐震強度に関する実験的研究

日本建築学会構造系論文集　第74巻　第644号　2009年10月

《実際の耐震改修設計のための実験》

9（N/mm²）～ 13.5（N/mm²）を想定

〇コンクリート強度を9（N/mm²）に調合設計

〇あと施工アンカー強度

・実験値は算定式の値を上回る

〇鉄骨ブレース補強骨組

・実験値は増分解析結果を上回る

ただし，状態の良いコンクリートである

実存する低強度コンクリート学校校舎における床スラブ打ち継ぎ部のせん断強度に関する現場実験

日本建築学会技術報告集　第15巻　第31号　2009年10月

《実際の補強工事中の校舎を使用した実験》

最小Is＝0.42　外付けRCフレーム補強

推定強度13.2（N/mm^2）　スラブ7.8（N/mm^2）

〇ひび割れ強度

・実験値／計算値＝1.90～1.97

〇終局強度

・実験値／計算値＝0.84～1.20

RC壁，RC柱の直接せん断耐力評価式が妥当

建築構造講習会

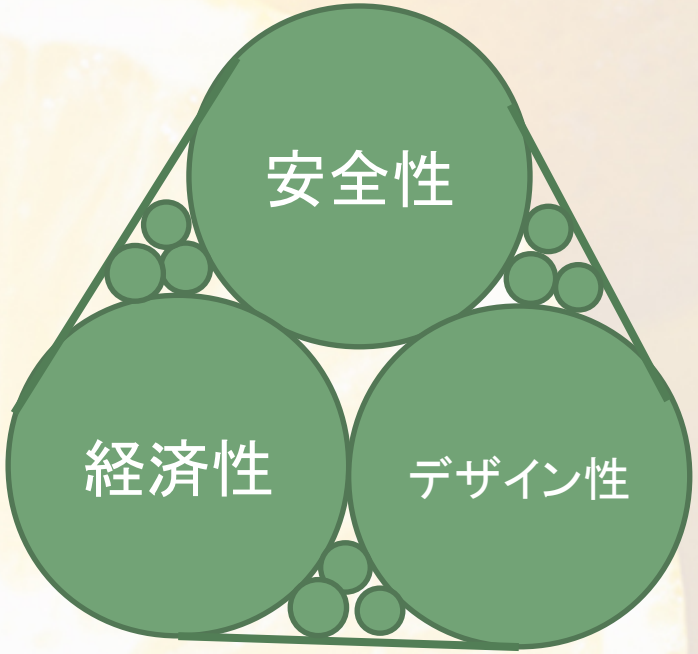
耐震診断と耐震改修の課題

補強と建替の判断とは

設計ロープ

《安全性・デザイン性・経済性などはトレードオフの関係にある》

一本のロープの中に諸条件を押し込む



現地調査の重要性

《耐震診断時に行うか，改修設計時に行うか》

RC構造

〇コンクリート強度

〇配筋　はつり調査またはレーダー探査

できれば構造図がある場合にも実施

鉄骨構造

〇部材断面の実測

〇溶接部の超音波探傷

〇アンカーボルト

低強度建物改修の可否

《改修設計に関する判定会としての考え方》

たとえば

- Fc13.5（ N/mm^2 ）を大きく下回らない
- 建物の一部分だけが低強度
- 長辺方向のスパンが短い（4.0～4.5m）
- 柱の断面が大きく，鉄筋量も多い
- 短辺方向に耐震壁が十分にある
- 補強可能な部分が多い

ただし，あくまでケースバイケース

低強度建物改修設計の留意点

《すべてが満たされるとは限らないが・・・》

- 局所的ではなく全体的な補強
- 補強部材のバランスの良い配置
- あと施工アンカーの余裕ある量と配置

  アンカー接合部での破壊を防ぐ
- 柱軸力や圧壊の検討
- ヤング係数低下による変形
- スラブによる力の伝達

  剛床仮定が成立するか

改修手法としての減築

《低強度コンクリート建物の有効な改修手法》

３階建て→２階建て・・・一部分を解体撤去

・建物重量を軽減できる

・地震力を減少できる→免震と同じ効果

減築による例　３階→２階　開口付耐震壁増設

階	コンクリート推定強度	補強前Is		補強後Is	
	(N/mm²)	X	Y	X	Y
3F	6.8	0.51	1.05	-----	-----
2F	7.8	0.39	0.64	1.12	1.51
1F	8.3	0.32	0.56	0.87	1.01

鉄骨建物の建替

・積雪荷重変更による部材の不足
　　長期応力で短期許容応力度を超える

・接合部不足　保有耐力接合にならない

・溶接不良

Dランク建物の取り扱い

《著しく耐震性能が劣る建物をどう扱うか》

- 当該建物の重要度は？
- 建替候補となった建物→予算が付くまで放置
  緊急的な補強が必要
- なにもしないよりは（不作為）→不安だけど補強
- 緊急補強→その後，建替へ進めるか
- 校長室にブレースを！

耐震改修工事の副作用

《改修工事のほこりによる誤作動？》

トラブル

防火シャッターで人身事故発生

「工事のほこりによる煙感知器の誤作動が原因」との見方も

7月30日午前9時10分ごろ、茨城県古河市立下大野小学校で、1年生の男児が防火シャッターと床との間に挟まれる事故が発生した。男児は左肩部の打撲を負った。

同日は夏休み期間中だが、登校日

ない。現在、古河署が調べている。

同小学校では現在、耐震補強をはじめとする改修工事を実施している最中だ。事故当時、防火シャッター近くのトイレで改修工事を行っており、トイレの床や壁をはがしていた

危害防止機構について古河市教育委員会は、「現在、市内の小中学校を順次、建て替えているところだ。下大野小学校でも建て替えるタイミングを見計らい、危害防止機構の付いた防火シャッターを設置する計画だっ

- 防火シャッターの誤作動により，小学校１年生の男児が挟まれる
- 耐震改修工事に伴うほこりにより，煙感知器が誤作動か？

り、慌ててシャッターをくぐり抜けようしたため挟まれてしまった。一緒にいた男児の姉の助け声を教職員らが聞き、シャッターを持ち上げて男児を救出した。すぐに病院に搬送、命に別状はなかった。

事故を起こした防火シャッターは鉄製で、校舎1階の廊下と階段の間に設けられているもの。高さと幅は共に約2.7m、厚さ約5cmである。東洋シヤッター製のものだった。

8月6日時点で、防火シャッターが

知器が反応し、それに連動して防火シャッターが下りた可能性はある。しかし、まだ事故との関連は明らかではない」。

これまで下大野小学校で防火シャッターが誤動作したことはなかった。古河市教育委員会では、1年に2回、市内の全小中学校で煙感知器を点検していた。下大野小学校でも7月初めに点検を実施したが、異常は見つからなかった。

実績から全国で200万台を超えるのではないか」と言う。

危害防止機構のない防火シャッターでは、煙感知器だけでなく防火シャッターそのものの点検が一層、重要になる。しかし、「煙感知器に加えて、防火シャッターの誤作動の点検を実施しているケースは少ない」と同協会は指摘する。

「防火シャッターの事故はほとんどが小学校で発生している。小学生にとって防火シャッターが下りてくる

日経アーキテクチュア
2010/08/23

耐震改修工事の副作用

《施工不良の発覚》

ニュース　トラブル

学校の手抜き工事が相次ぎ発覚

耐震改修計画に遅れが生じる恐れ

夏休みに耐震改修を実施する学舎での欠陥だった。設計者や施工

策についても検討中だ。

- 兵庫県一中学校：柱（6.4m）の上部，はり下2mの部分にフープがない（φ9　@100）
- 奈良県一高校：窓枠部分ではり主筋とスタラップが切断
  - ：サッシ固定金具が主筋に溶接
  - ：設備配管のためはり主筋とスタラップが切断

児童支援施設：コンクリートブロック壁の鉄筋不足

本数は6本。このうち4本の柱で、梁下2mの部分に帯筋が全くなかった。本来なら、直径9㎜の帯筋を10㎝間隔で巻く設計だった。

渡り廊下は1974年に完成。設

切断されていた。加えて別の6カ所では、防火シャッターや窓の枠を固定するための金具が梁の主筋に溶接されていた。このほか、設備配管のために梁の主筋とあばら

所（広島市）が、施工は浅沼組がそれぞれ担当していた。

奈良県では09年12月にも児童支援施設である精華学院のコンクリートブロック造の寮で、コンク

日経アーキテクチュア
2010/09/13

改修工事の課題
《事務所協会と鉄構組合青年部との研修会より》

・施工しにくい鉄骨詳細

・発注者→（監理）→ゼネコン→ファブ
　　設計者はどこに？

・不適正価格

耐震診断と耐震改修の課題

END