

# 事業名

## 3 . 非構造部材に関する基準の整備 に資する検討

### 事業主体名

戸田建設（株）

西松建設（株）

（財）日本建築センター

事業の目的：

大規模空間を持つ建築物の天井脱落等および  
スプリンクラー設備の地震時機能維持等に関  
する調査を実施する。

事業の概要：募集された調査事項

- ・大規模空間を持つ建築物の天井脱落等
- ・スプリンクラー設備の地震時機能維持等

について検討を行い、それぞれの調査結果に  
関して、以下にまとめて報告する。

なお、本事業は（独）建築研究所との共同研  
究により実施したものである。

# 「非構造部材に関する基準の整備に資する検討」

## ・大規模空間を持つ建築物の 天井脱落等に関する調査

## 大規模空間を持つ建築物の振動特性調査：目的

近年大規模空間での天井の脱落等の地震被害が数多く発生している中、大規模空間構造が、どの程度非構造部材の応答に影響を与えるかは定量的に把握されていない。





東京大学生産技術研究所 腰原幹雄 准教授 提供



**大規模空間の振動特性を定量的に把握することを目的に、寄棟屋根と切妻屋根の2種類の体育館を対象に振動測定および解析を実施した。**

# 大規模空間を持つ建築物の振動特性調査：建物概要

	体育館A	体育館B
外 観		
竣 工	1989年（築20年）	1973年（築36年）
所在地	広島県	茨城県
構 造	1F：RC造、2F：SRC造、屋根：S造	1F：RC造、2F：S造、屋根：S造
屋 根	S造寄棟 （高さ13m/勾配30°）	S造切妻 （高さ11m/勾配11°）
測定時期	2008年12月	2009年2月
備 考	2001年の芸予地震で天井の一部が落下。その後、修復して現在も使用中	これまでの地震被害は特になし。平成10年耐震改修、現在は閉校。

## ( 体育館 A の地震被害 )

体育館Aは、**2001年3月に発生した芸予地震**において天井（在来工法、化粧せっこうボード + 吸音板 + 吸音材）の一部が落下する被害を受けたが、現在は修復されている。修復後はせっこうボード直張りである。



2001年芸予地震での被害状況

東京大学生産技術研究所 腰原幹雄 准教授 提供



修復後の現在の状況

# 大規模空間を持つ建築物の振動特性調査：調査概要

対象建物の振動特性（固有振動数、モード形状、減衰等）を把握するために、以下の調査を実施した。

## ■ 常時微動測定・強制加振実験

計測は、サーボ型加速度計を用い、張間方向・桁行方向・上下方向を盛り変えながら実施した。

強制加振には起振器を用い、加振波はサイン波とスイープ波とした。

## ■ 固有値解析・地震応答解析

3次元FEMモデルを作成し、2001年の芸予地震の観測波（広島県提供）を入力波とした。

# 常時微動測定・強制加振実験：測点状況



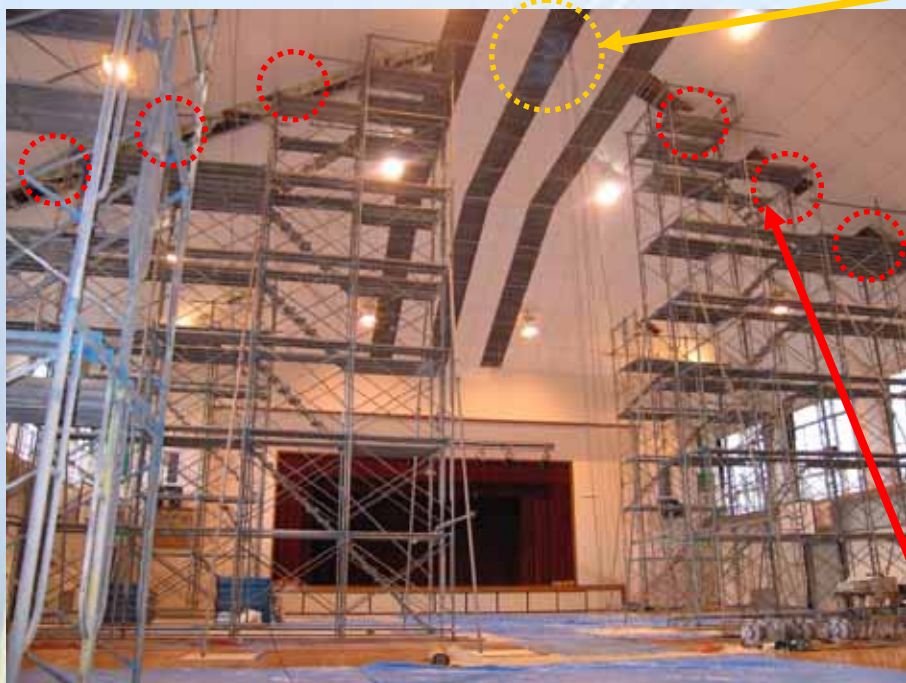
体育館Aの測定状況  
(仮設足場を設置)



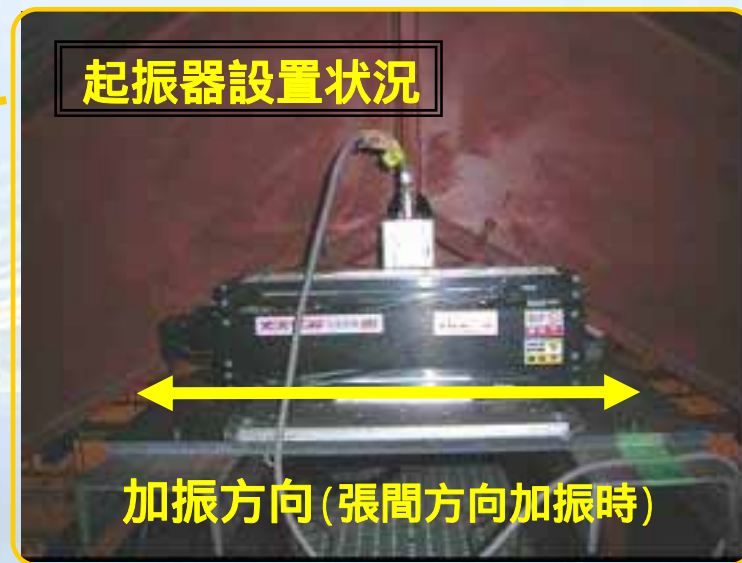
体育館Bの測定状況  
(ローリング足場を設置)



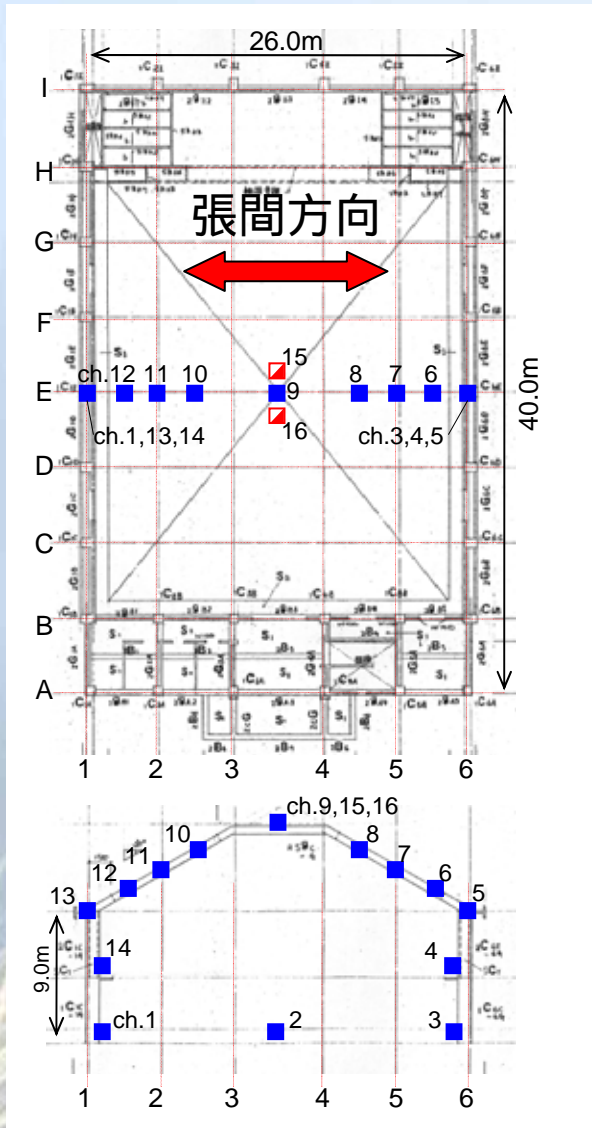
# 常時微動測定・強制加振実験：強制加振状況



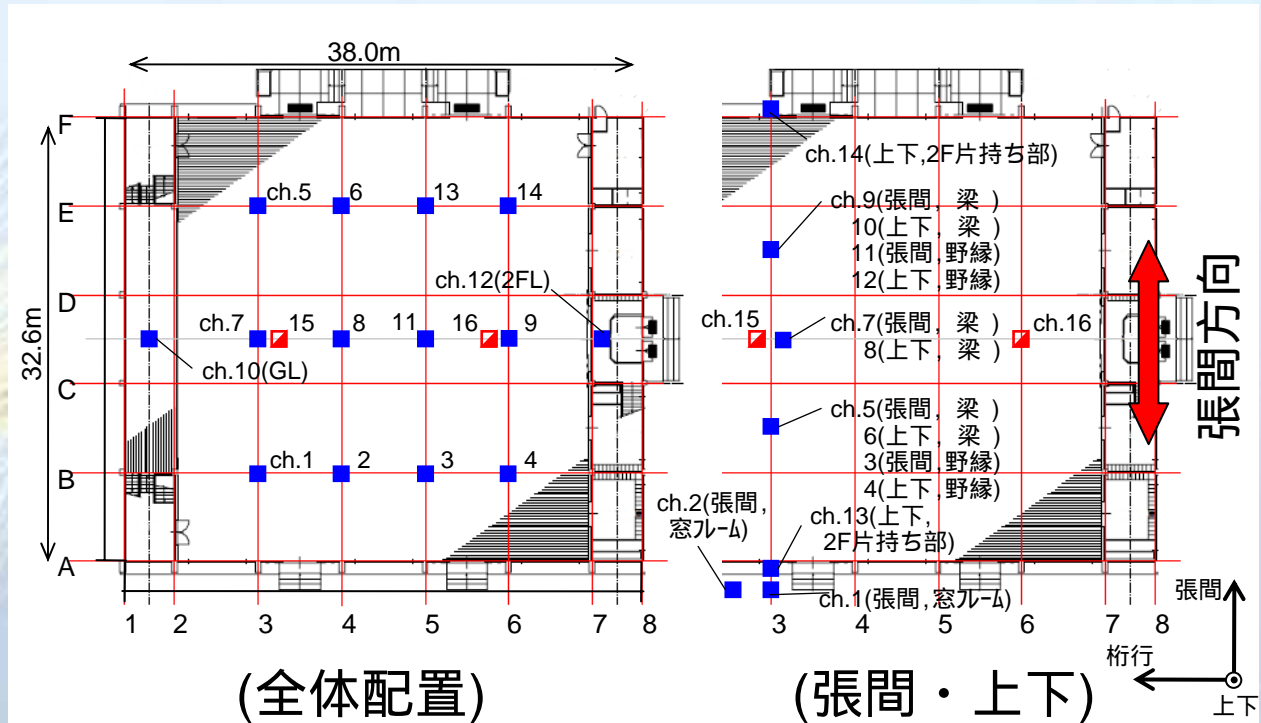
振動特性実測時の体育館A内観



# 常時微動測定・強制加振実験：測点配置

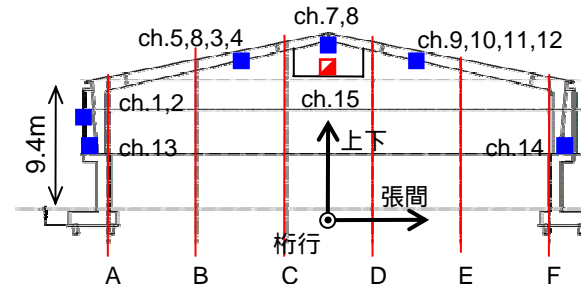


体育館A測定点



(全体配置)

(張間・上下)



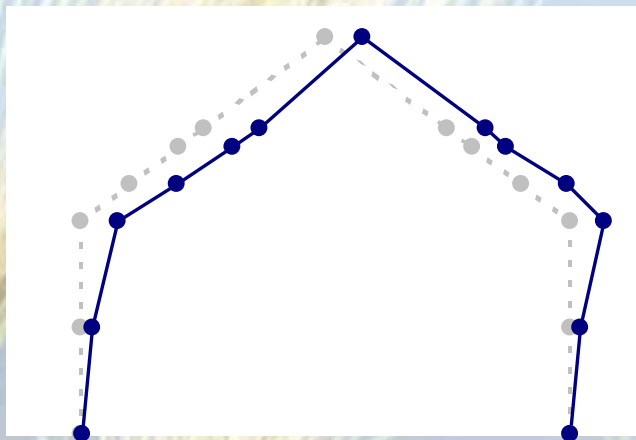
体育館B測定点

# 常時微動測定・強制加振実験：実験結果

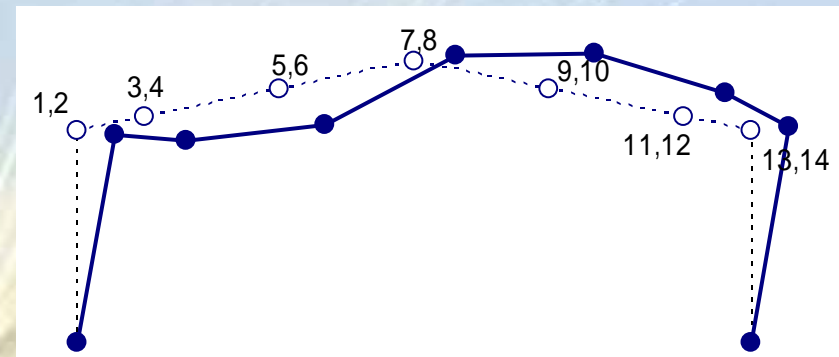
## 固有振動数と固有モード

単位:Hz

測定条件	体育館A			体育館B			
	張間	桁行	上下	張間	桁行	上下1次	上下2次
強制加振	4.5	6.4	5.6	4.0	4.4	3.6	5.4
常時微動	4.6	6.6	5.6	3.8	4.3	3.6	5.3



体育館A：張間方向モード



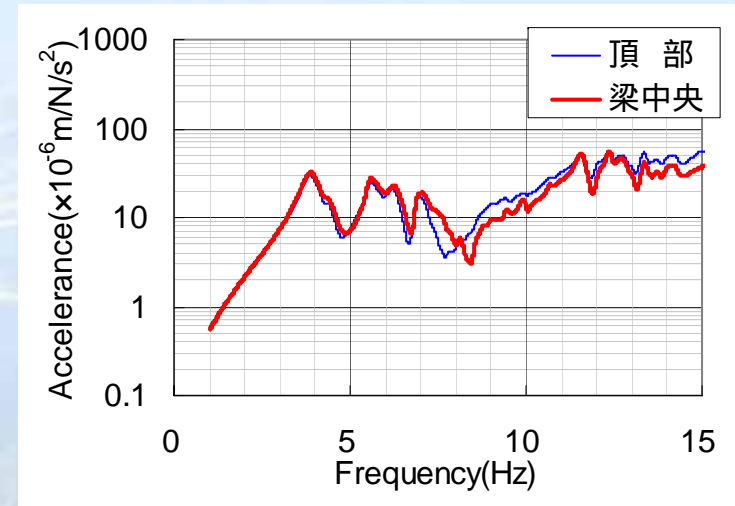
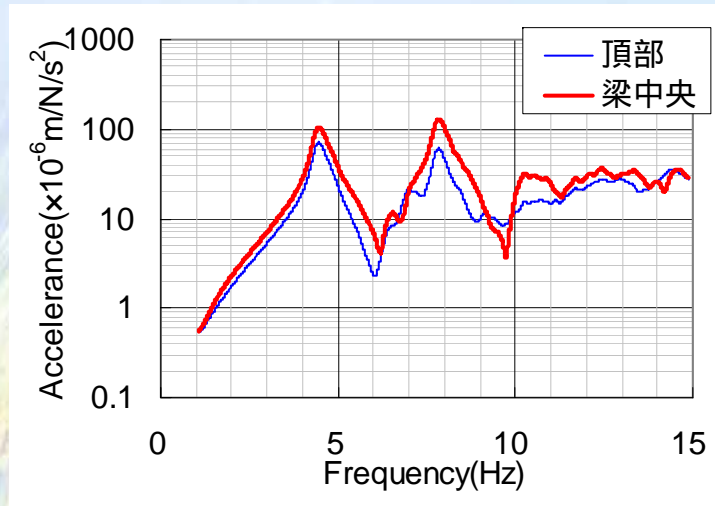
体育館B：張間方向モード

**張間方向のモード形状は棟を挟んで、梁中央部において振幅が大きくなっていることが確認できる**

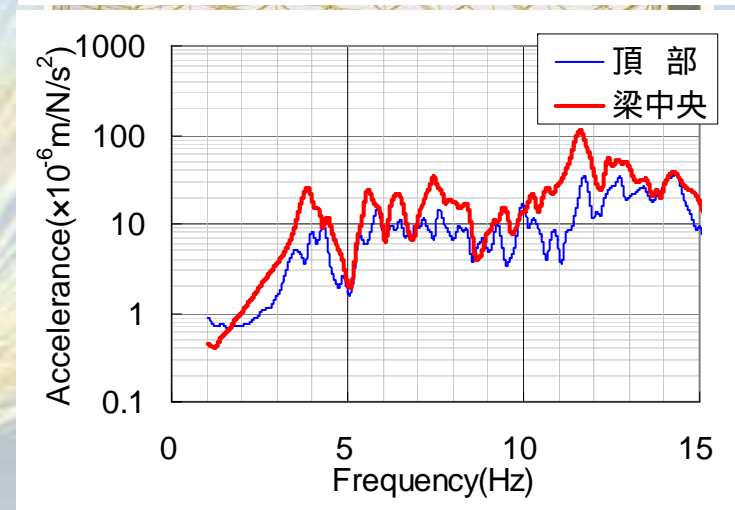
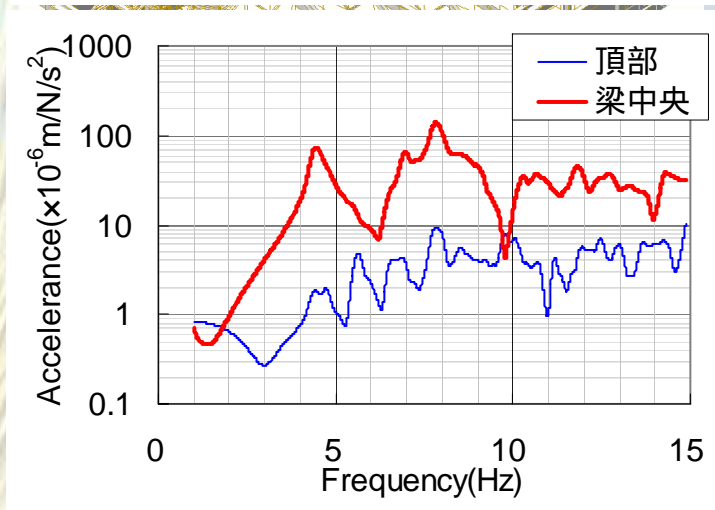
# 常時微動測定・強制加振実験：実験結果

## 張間方向加振時のアクセラランス

水平加速度  
水平加振力



上下加速度  
水平加振力

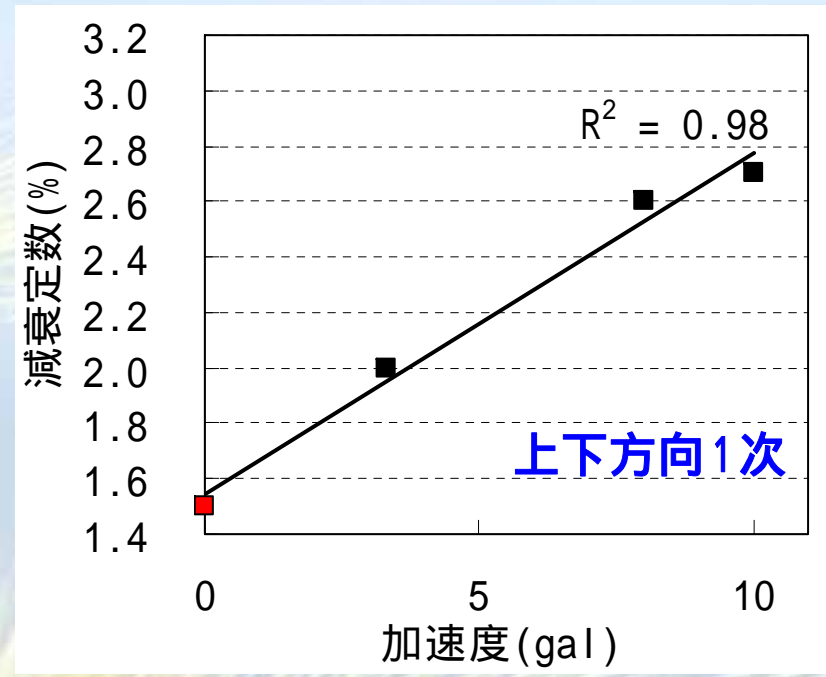
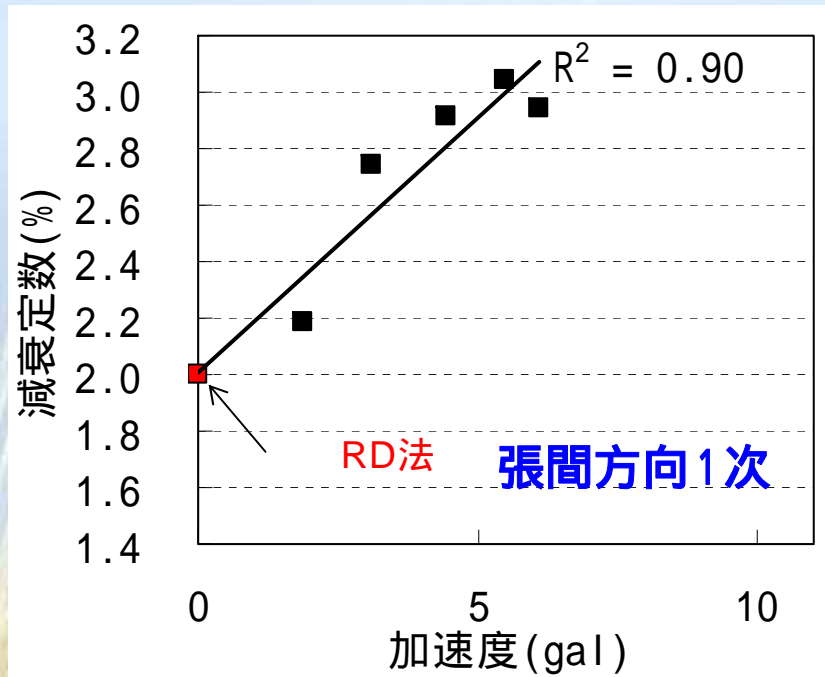


体育館A

体育館B

# 常時微動測定・強制加振実験：実験結果

## 減衰（振幅依存性）

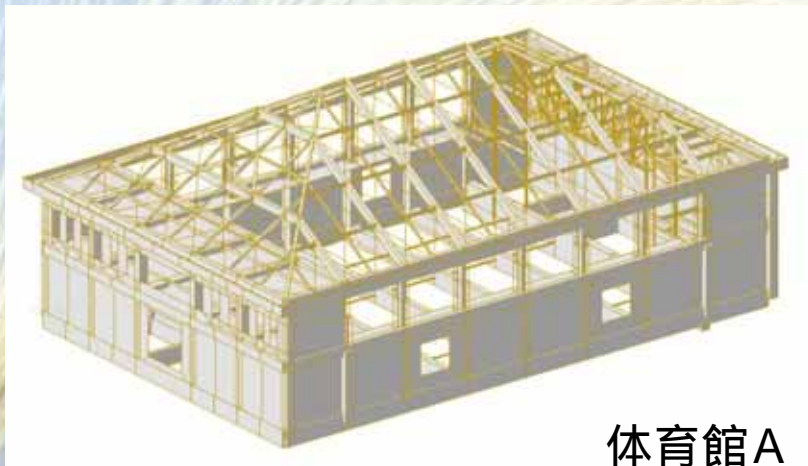


体育館A

- ・張間方向、上下方向とも、加速度レベルが大きくなるに従って減衰定数は大きくなり、振幅依存性が認められる
- ・各方向とも最大加振レベルでの減衰定数は約3%

## 固有値解析・地震応答解析：解析概要

測定結果と比較して解析モデルの妥当性を確認するとともに、芸予地震を入力とした地震応答解析を実施した。



体育館A



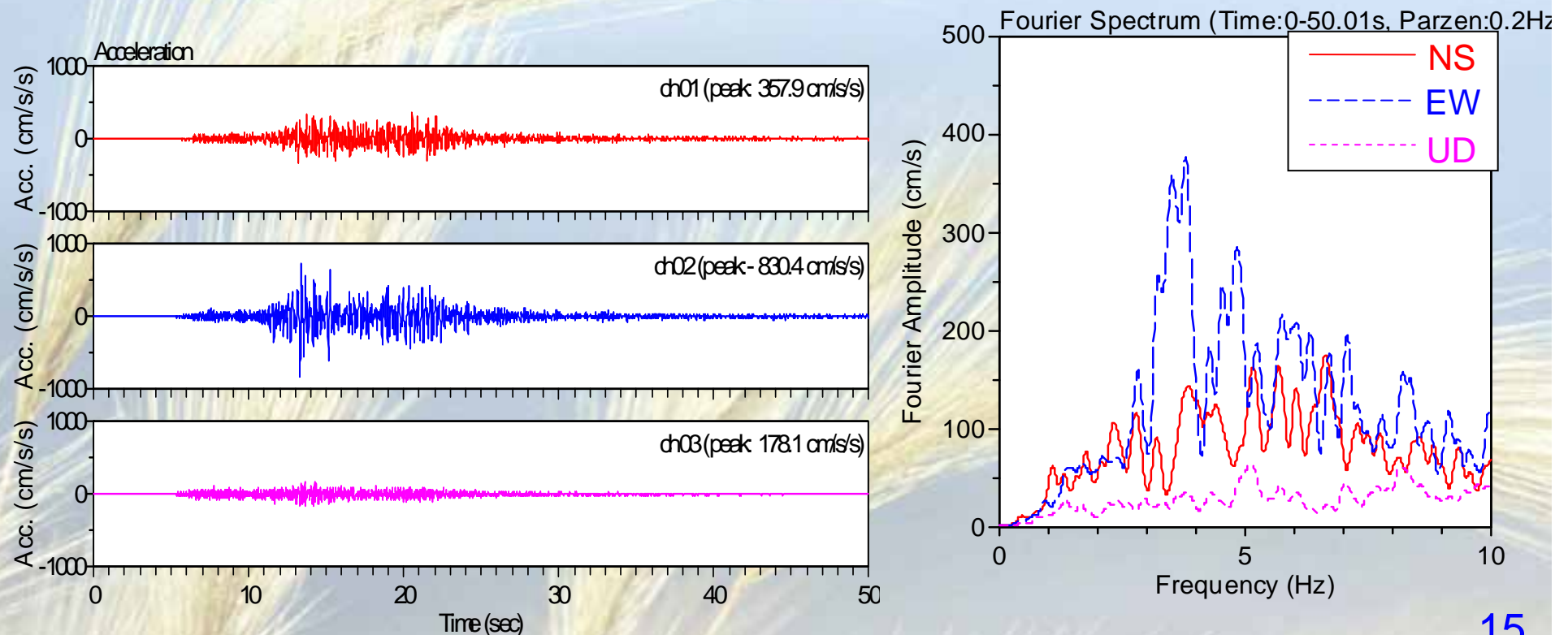
体育館B

- 解析方法：直接積分法（Newmark 法  $\gamma=0.25$ ）  
減衰：剛性比例型（体育館A:3%、体育館B:6%）  
境界条件：基礎部ピン  
屋根重量：体育館A:19kgf/m<sup>2</sup>、体育館B:25kgf/m<sup>2</sup>（下地材込み）  
入力波：芸予地震観測波（一方向入力）

# 固有値解析・地震応答解析：入力波

## 2001年芸予地震観測波

最大加速度はNS方向で約360gal、EW方向で約830gal、上下方向で約180galであり、建物の固有振動数である4～5Hzに大きなピークを持っていることが確認できる。

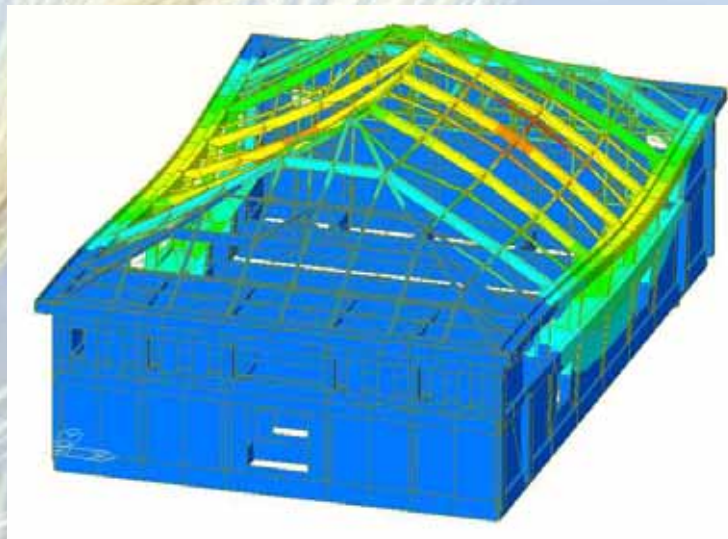


# 固有値解析・地震応答解析：実測値と解析値の比較

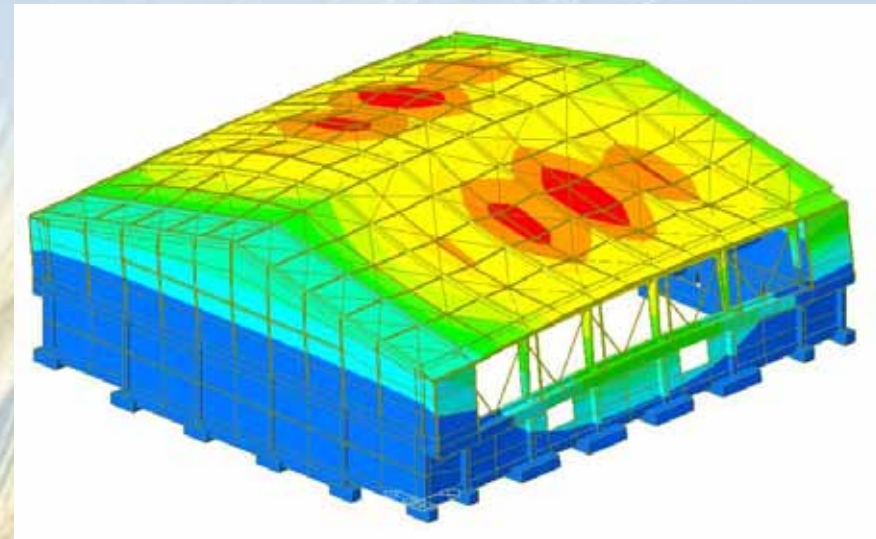
## 固有振動数と固有モード

単位:Hz

	体育館A			体育館B		
	張間	桁行	上下	張間	桁行	上下
実測値	4.5	6.4	5.6	3.8	4.3	3.6
解析値	4.8	6.6	5.5	3.8	4.2	3.5
解析/実測	1.07	1.03	0.98	1.00	0.98	0.97



体育館A：張間方向モード

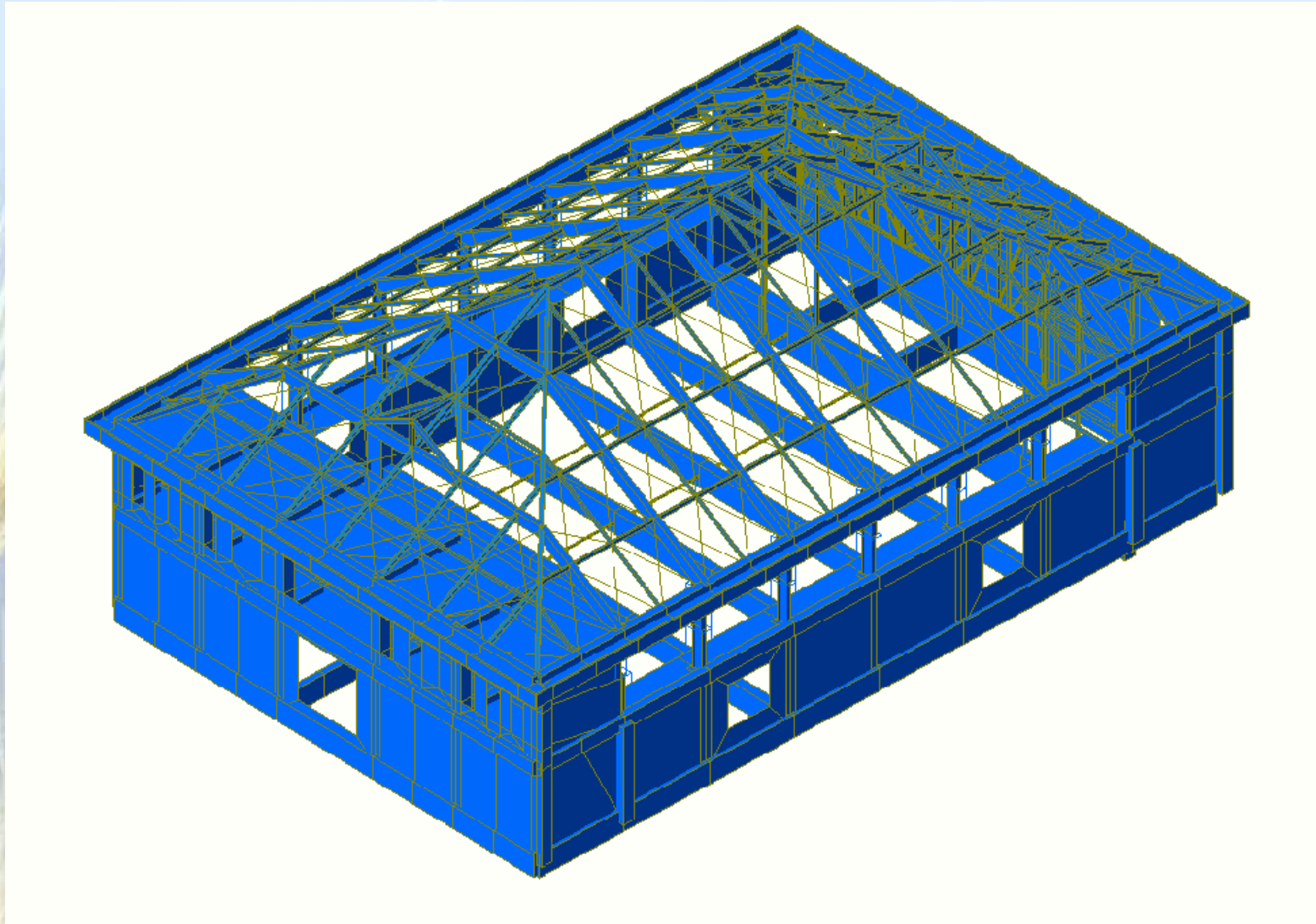


体育館B：張間方向モード



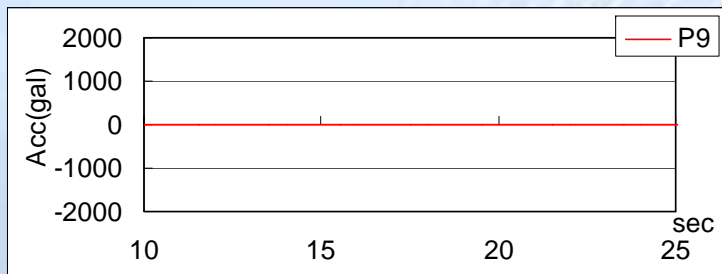
固有値解析・地震応答解析：解析結果

## 体育館 A モード形状

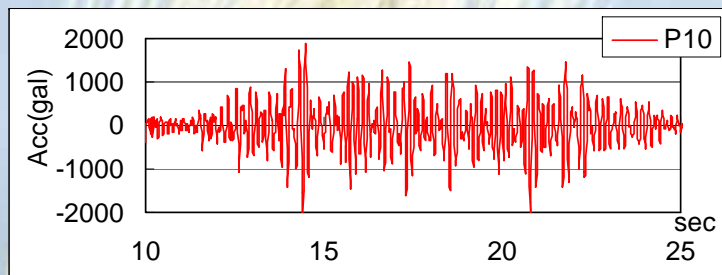


# 固有値解析・地震応答解析：解析結果

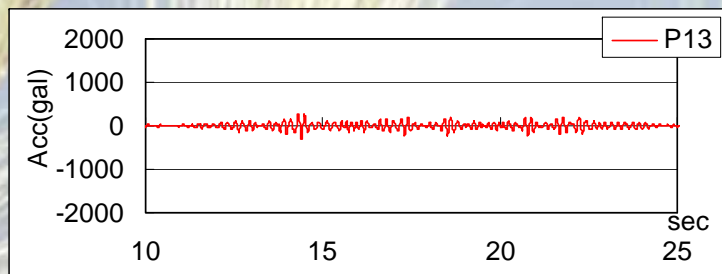
## 張間方向入力時の上下方向応答加速度時刻歴



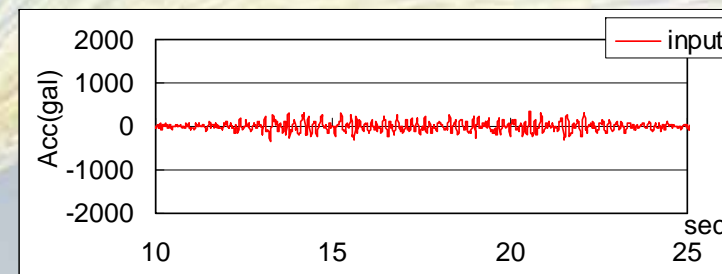
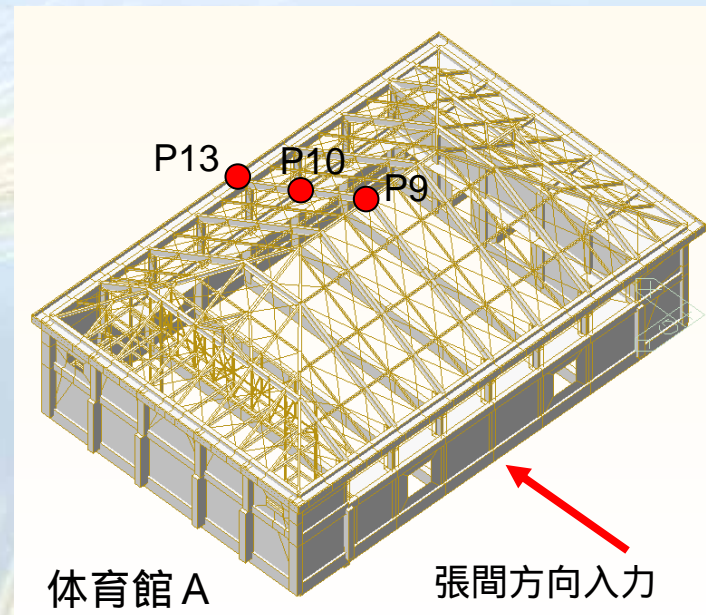
P9 上下応答加速度



P10 上下応答加速度



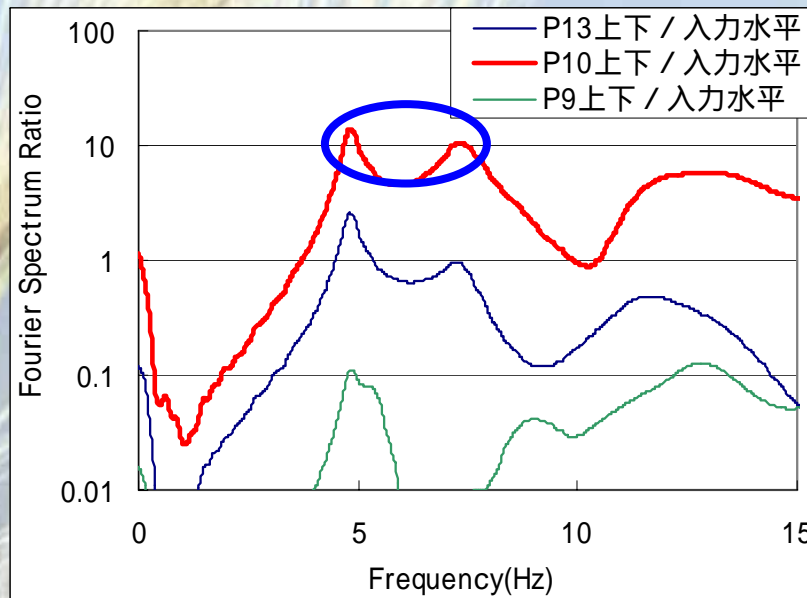
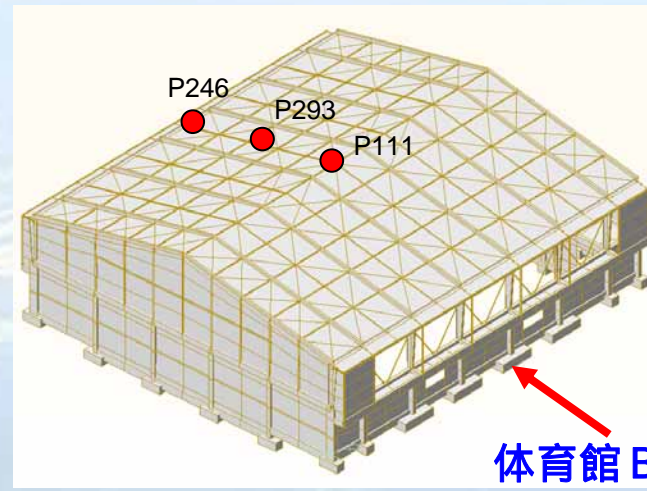
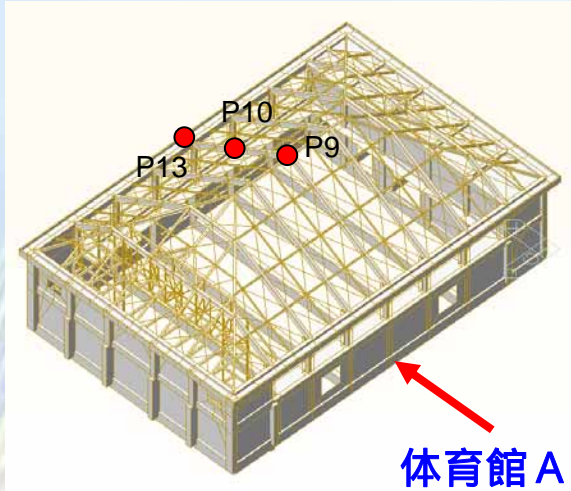
P13 上下応答加速度



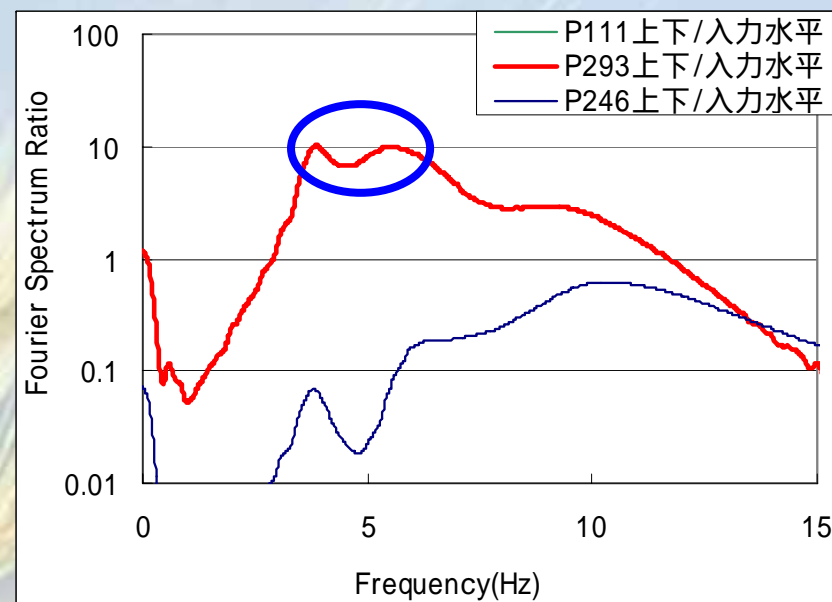
張間方向水平入力加速度 18

# 固有値解析・地震応答解析：解析結果

## 張間方向入力時の上下方向伝達率



上下  
水平




上下  
水平

## 大規模空間を持つ建築物の振動特性調査：まとめ

寄棟屋根の体育館 A と切妻屋根の体育館 B の振動測定および解析を行い、得られた知見を以下にまとめる。

- 各体育館の固有振動数、固有モード、減衰などの振動特性を定量的に把握した。
- 水平入力動により、山形ラーメン梁中央部の上下動が大きく増幅する可能性があることを定量的に確認した。
- 実測と解析結果を比較し、解析モデルの妥当性を確認した。



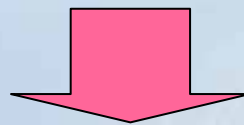
「非構造部材に関する基準の整備に資する検討」

・スプリンクラー設備の地震時

機能維持等に関する調査

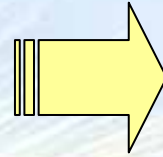
## SP機能維持：目的

・スプリンクラー設備については、稀に起こる地震（レベル1地震、中地震）後の機能維持に関わる基準が明確になっていないこともあって、スプリンクラー設備の初期消火能力等を避難安全性能等に組み入れる建築基準にはなっていない。

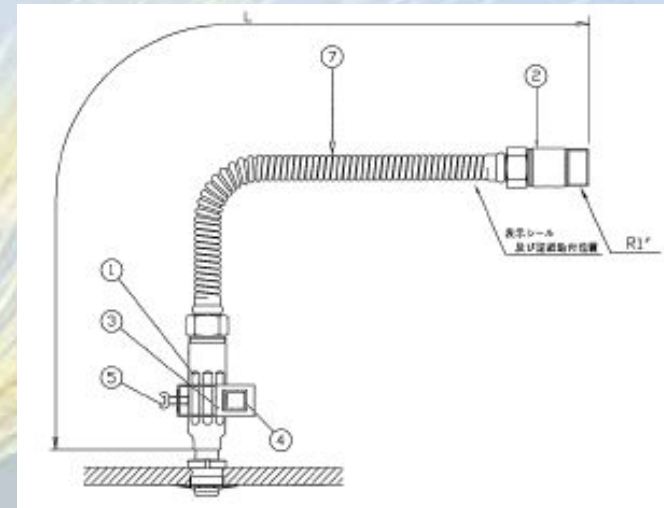
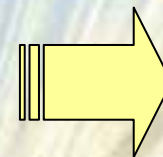


・代表的なスプリンクラー設備が、稀に起こる地震（中地震）後も、地震前と同等に機能を維持するために、スプリンクラー設備（天井等との取り合いも含め）に必要な技術基準を検討するために、調査及び振動実験による検証を行い、基盤的情報を得る。

# SP機能維持：事務室現状調査



天井：ライン型システム天井からグリッド型システム天井へ



SP巻き出し配管：実管方式からフレキ管方式へ

## SP機能維持：現場見学



600mm角グリッド型システム天井を採用、天井ボード15mmは自由に取り外せ、設備パネルも固定されていない



フレキ管単体方式、SP移設に備え、かなりの余長



フレキ管は照明パネルに専用金具で固定



# 文献等による地震時SP被害調査

調査文献：日本建築学会 阪神・淡路大震災調査報告 建築編他

## 被害事例

- ・ SPヘッド：天井材とヘッド部の擦れ、天井落下に伴う道連れ、他の建築設備等が衝突
- ・ SP配管：配管自体の揺れ、他の建築設備との衝突が原因となり、配管接続部のネジ部に被害が多く発生。特に、建築物のエキスパンションジョイント部、建築物への引き込み導入部等で、層間変形角が大きい場所で配管被害が発生
- ・ 水槽の被害：基礎の強度不備や支持・固定方法の不備が原因で、移動・転倒した事例。水槽本体との取り付け部分の配管やフレキシブル管が適切に設置されていなかったため、被害が発生した事例
- ・ フレキ管：神戸市消防局の調査ではナット部からフレキ管が脱落した被害例が一例報告。大阪市消防の調査では、フレキ管方式の設備には被害がない。

## SP機能維持確認実験：実験概要

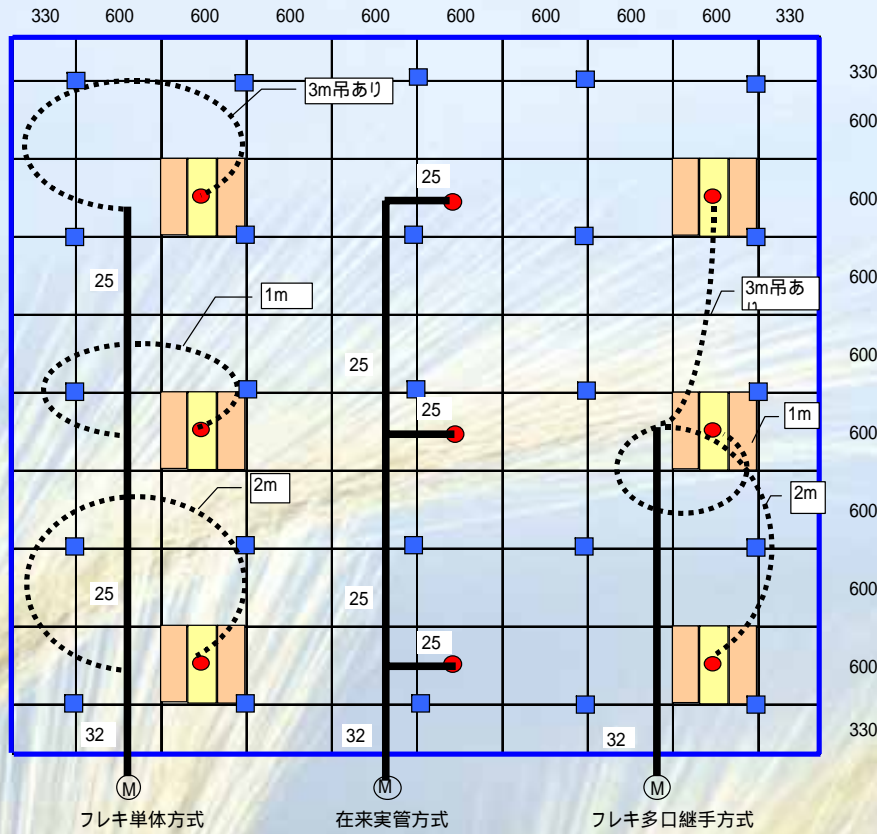
- ・ 西松建設愛川技術研究所の3次元大型振動台を使用
- ・ 天井実験用フレーム(6m\*6m\*3mH)
- ・ 高層事務所ビルの最上階(19階)に600mm角グリッド型システム天井及びスプリンクラーが設置されている状況を再現する実大試験体を作成し、加振

### 想定建物

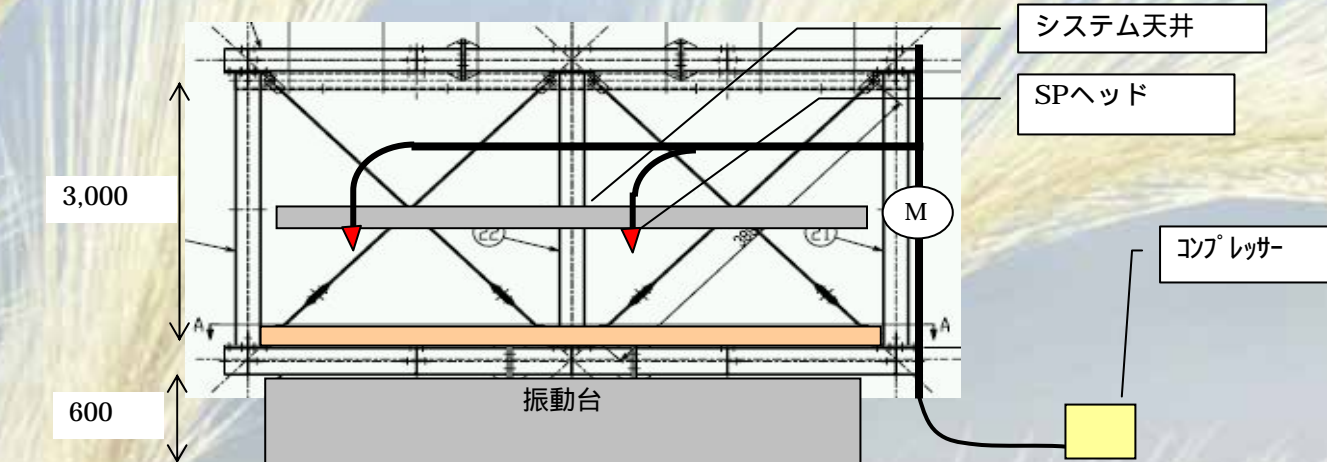
- ・ 建設場所：東京都内(第2種地盤)
- ・ 建物規模：地上19階、地下2階
- ・ 構造種別：鉄骨造(柱CFT造)
- ・ 基礎構造：直接基礎
- ・ 基準階高：4.25m



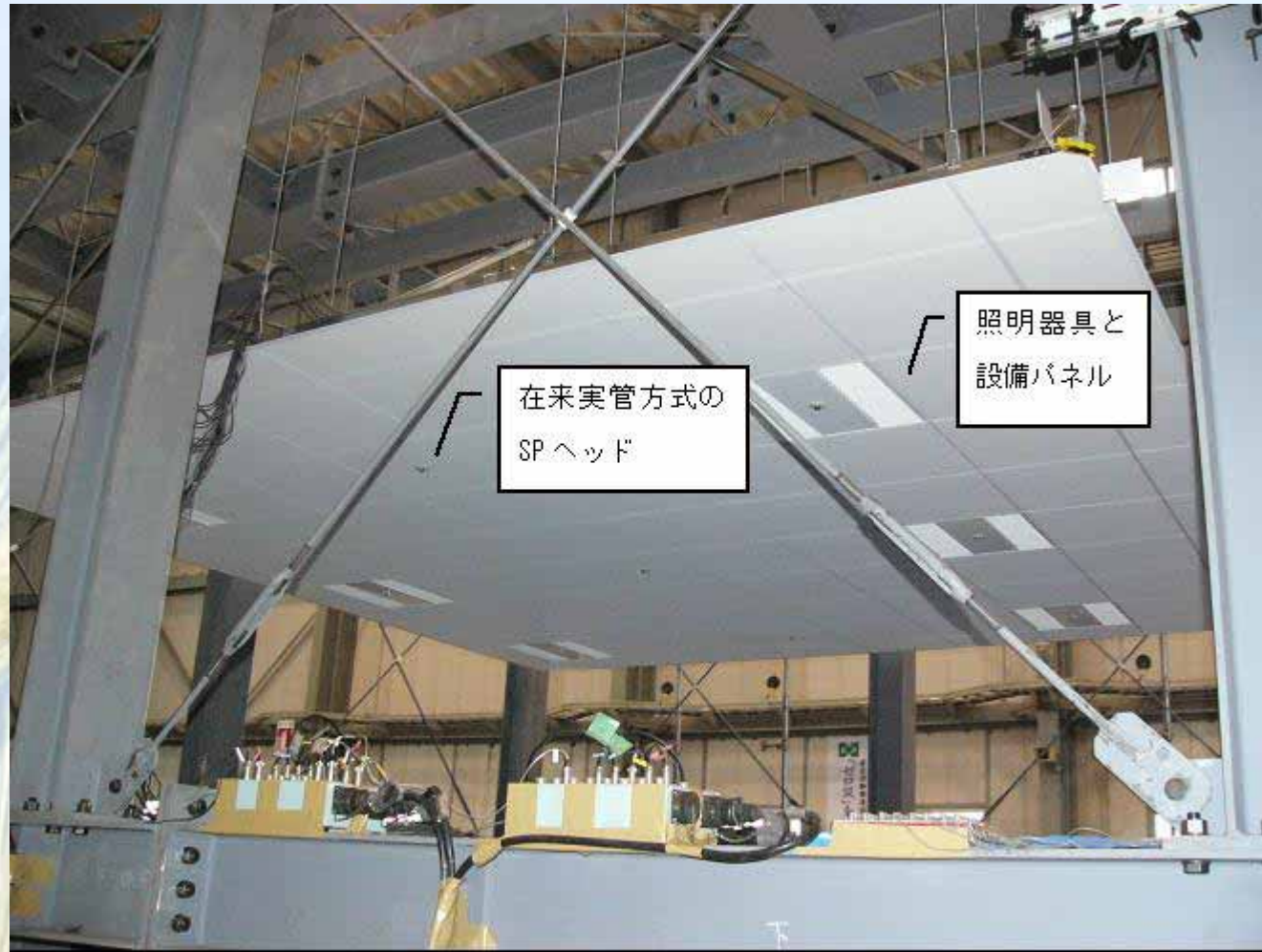
# SP機能維持確認実験：試験体概要



- 凡例：
- スプリンクラーヘッド
  - 設備プレート
  - 照明器具
  - ハンガー位置
  - 配管
  - Tバー
  - Lバー
  - ⋯ フレキシブルメタルホース
  - ① M 圧力メータ

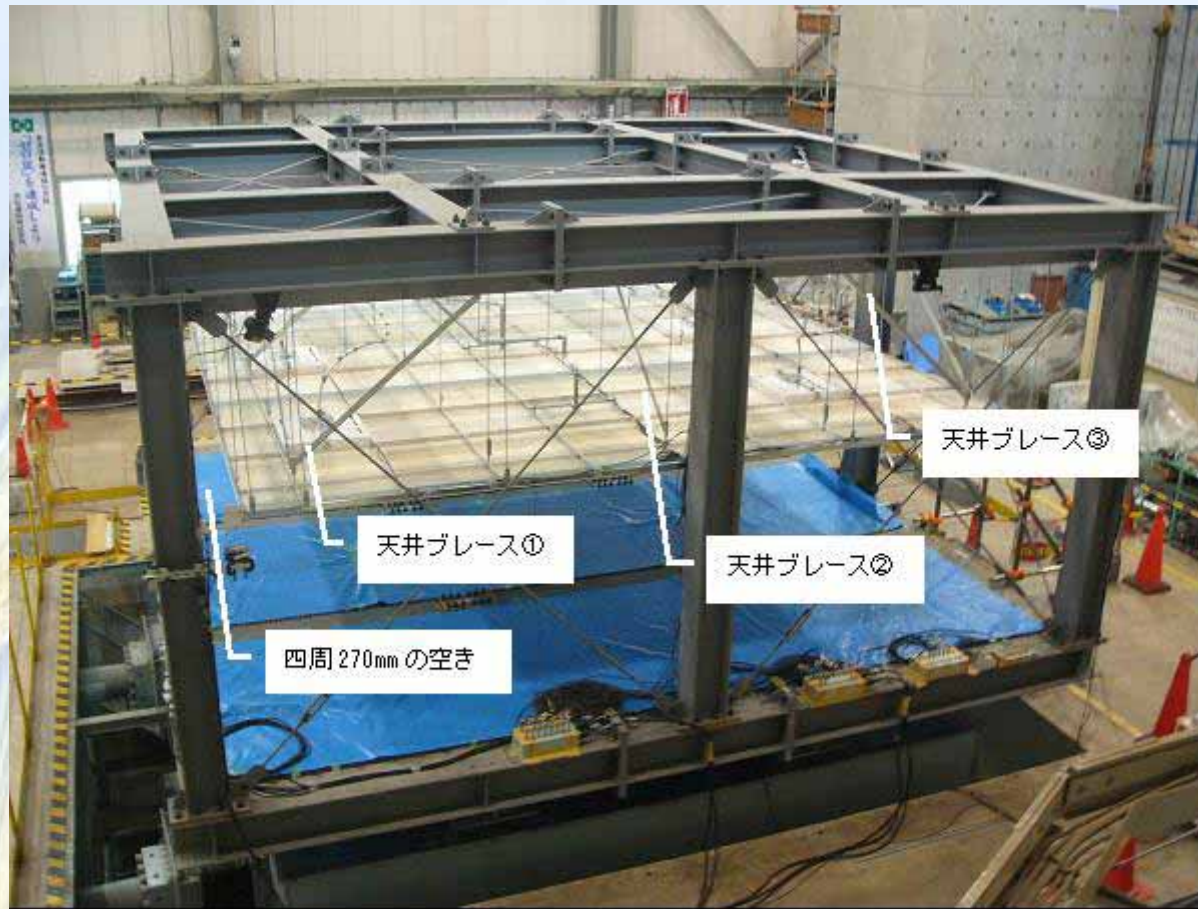


# SP機能維持確認実験：試験体 1



- ・ 事務所ビルで一般的な600mmのグリッド型システム天井
- ・ スプリンクラーフレキ接続部分：照明器具及び設備パネル実装（設備パネルにはスプリンクラー用に44 の開口）
- ・ ボード：岩綿吸音板15mm

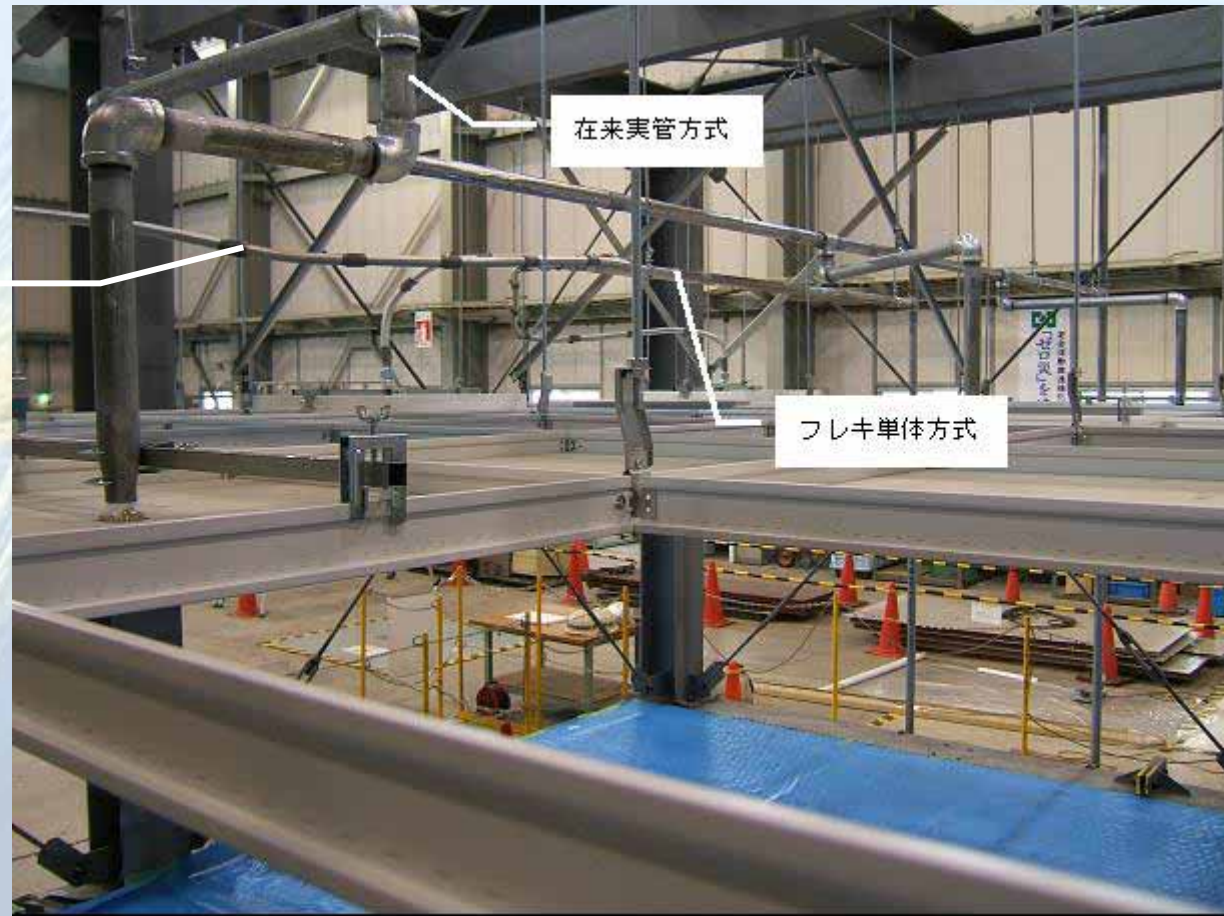
## SP機能維持確認実験：試験体 2



- ・天井の耐震：水平入力加速度を1Gとした場合、メーカー標準仕様では18m<sup>2</sup>毎にブレース1対となることから計算上は2対必要となるが、四周が完全にフリーとなっており、捩れ等が懸念されたため3対設置し、また、1対（天井ブレース）を外した2対の実験も行った。

## SP機能維持確認実験：試験体 3

施設の制約で水を充填できず、水重量再現のため鉛シート、鉛テープ巻きつけ

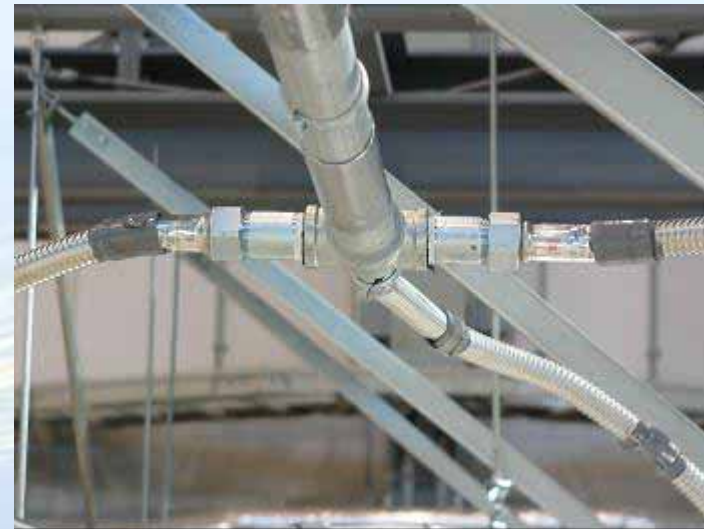


- ・巻き出し配管：3本の横引き管及び縦管にそれぞれ在来実管方式（直結方式）、フレキ単体方式、フレキ多口継手方式（ヘッダー方式）の3通りの方式を施工

# SP機能維持確認実験：試験体 4



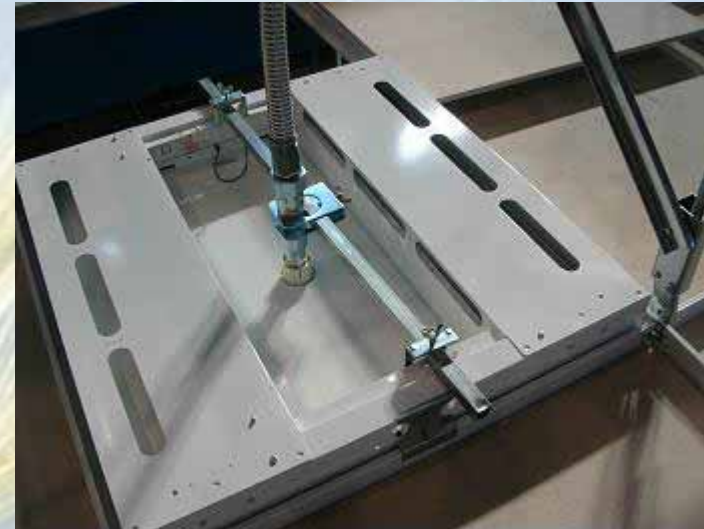
フレキ単体方式の配管接続部



フレキ多口継手方式

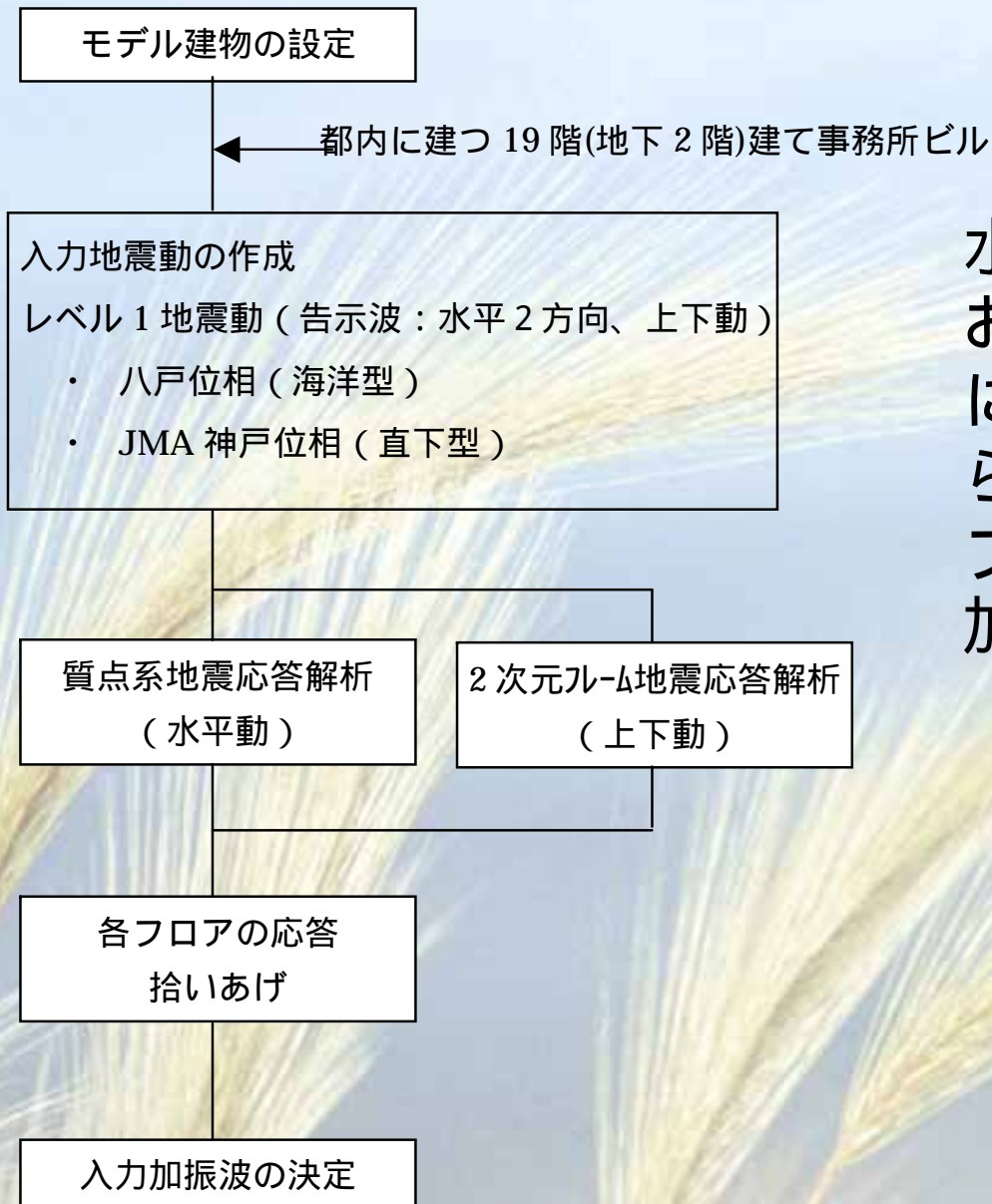


在来実管方式の配管固定方法



フレキ方式の配管固定方法

# SP機能維持確認実験：実験入力加振波



水平動、上下動ともR階における応答が概ね各周期帯にわたり最大となることから、R階 (19階天井スラブ) の応答加速度を実験用加振波として採用



# SP機能維持確認実験：実験ケース

番号	加振波	加振軸	倍率	フィルター 処理	備考
	八戸	1軸(主要動)	0.4	0.2 ~ 50Hz	
	八戸	1軸(主要動)	0.8	0.2 ~ 50Hz	
	八戸	3軸	0.4	0.2 ~ 50Hz	
	JMA	3軸	0.4	0.2 ~ 50Hz	
	八戸	3軸	0.8	0.2 ~ 50Hz	
	JMA	3軸	0.8	0.2 ~ 50Hz	
	JMA	1軸(主要動)	0.8	0.2 ~ 50Hz	
	八戸	3軸	0.8	0.5 ~ 50Hz	
	八戸	3軸	1.0	0.2 ~ 50Hz	中地震想定
	JMA	3軸	1.0	0.2 ~ 50Hz	中地震想定
	JMA	3軸	0.8	0.2 ~ 50Hz	
	JMA	3軸	0.8	0.2 ~ 50Hz	3mフレキ吊りボルト外し
	八戸	3軸	0.8	0.2 ~ 50Hz	3mフレキ吊りボルト外し
	JMA	3軸	1.4	0.2 ~ 50Hz	3mフレキ吊りボルト外し
	JMA	3軸	1.6	0.2 ~ 50Hz	3mフレキ吊りボルト外し
	八戸	3軸	1.2	0.2 ~ 50Hz	
	八戸	3軸	1.2	0.2 ~ 50Hz	3mフレキ吊りボルト外し ブレース2対
	八戸	3軸	2.4	0.5 ~ 50Hz	3mフレキ吊りボルト外し ブレース2対

- ・ 倍率1.0 はレベル1 地動に対するR 階スラブ応答を再現するように加振したことを意味し，倍率1.4 とは床スラブ応答がその1.4 倍となる加振を意味する。
- ・ 及び が本研究で想定する中地震時の挙動確認を行う加振

## SP機能維持確認実験：計測、記録 1

振動性状計測：全44チャンネルのデジタルデータを各加振ごとに記録

- ・ 振動台関係：9箇所
- ・ 加速度：天井Tバー（5か所），天井ボード（2か所），加振フレーム上面（2か所），横走り管先端部（フレキ管系，実管系各1か所）
- ・ 変位：天井（2か所）



配管に取り付けた加速度計



天井に取り付けた変位計

## SP機能維持確認実験：計測、記録 2

### SP 設備機能維持確認

#### 天井、SP設備目視チェック

圧力変動監視：各配管系統ごとに空気与圧（0.3 MPa）した状態で加振し，試験後一定の時間圧力変化を観察

SP配管空気漏れチェック：加振後、配管及びヘッドの継ぎ目等に石鹼水を塗布して、空気漏れの有無を目視により観測



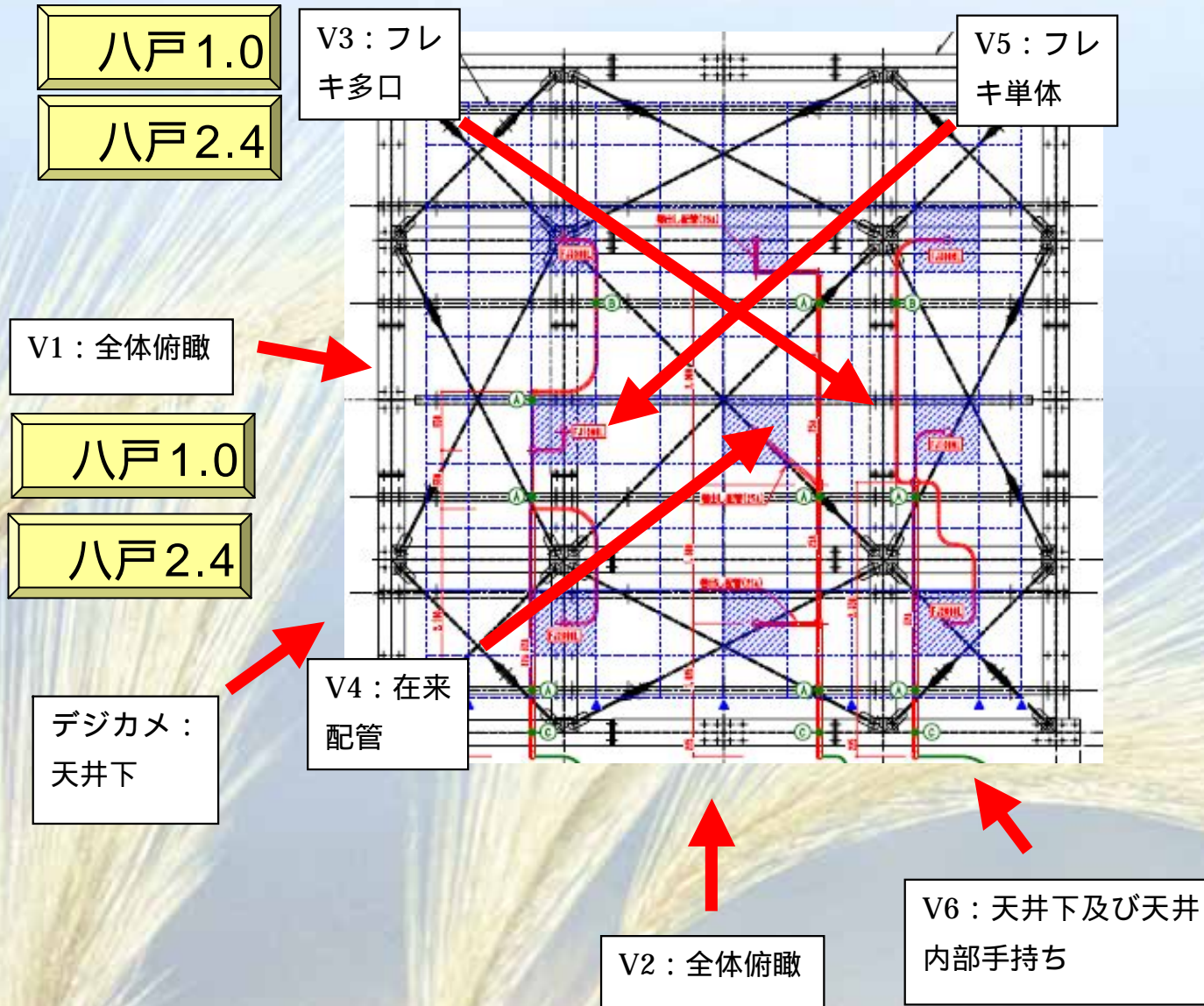
SP圧力変動監視



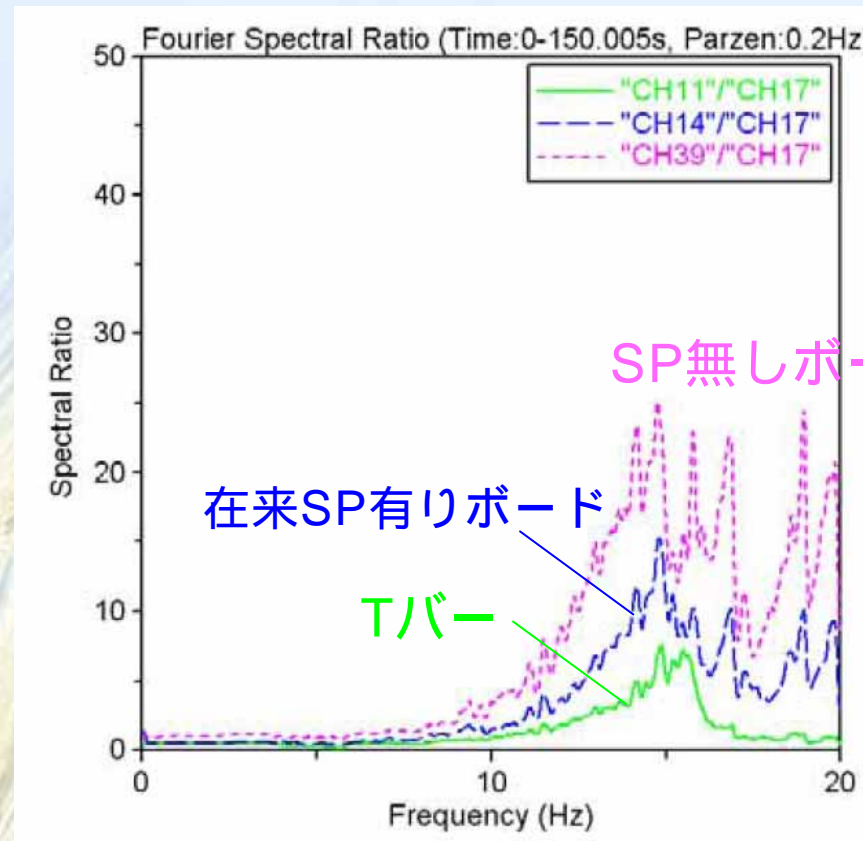
SP配管空気漏れチェック

# SP機能維持確認実験：動画

7台のビデオで撮影、V3～V4はフレームに固定



# SP機能維持確認実験：中地震応答波加振時の挙動（ボード）



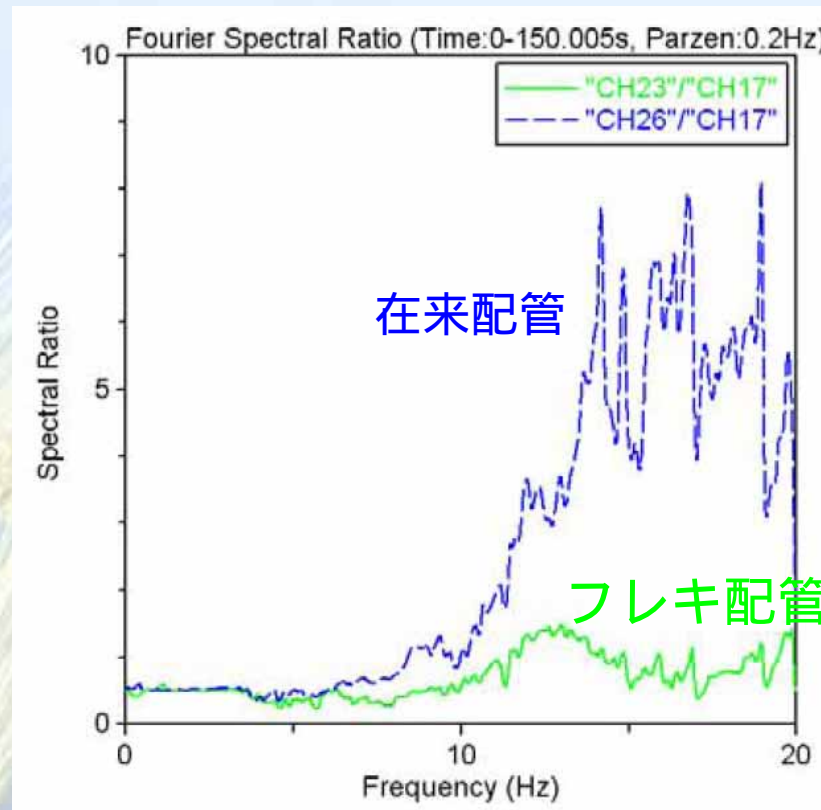
フレームに対するフーリエスペクトルの比

加速度時刻歴波形 Z 方向（No.8）

SP無しボードは加速度が大きく増幅

在来SP有りボードは配管で挙動が抑えられている

# SP機能維持確認実験：中地震応答波加振時の挙動（配管）



フレームに対するフーリエスペクトルの比

加速度時刻歴波形 Z 方向（センサは横引き管上）（No.8）

フレキ配管に比べ、在来配管の方が揺れが大きいですが、センサの  
縦管からの距離、吊りボルトの配置等の影響が出ている。

# SP機能維持確認実験：機能維持確認結果 1

番号	加振波	加振軸	倍率	備考	天井部材 目視結果*	SP設備 目視結果*	配管 空気漏れ*	各配管内圧力(MPa)**							
								加振前	加振後	10分	20分	30分	40分	50分	60分
	八戸	1軸(主要動)	0.4		-	-	-	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-
	八戸	1軸(主要動)	0.8		-	-	-	0.3	0.3	0.3	-	-	-	-	-
	八戸	3軸	0.4		異常なし	異常なし	なし	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	JMA	3軸	0.4		異常なし	異常なし	なし	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	-
	八戸	3軸	0.8		異常なし	異常なし	なし	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	-
	JMA	3軸	0.8		異常なし	異常なし	なし	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	JMA	1軸(主要動)	0.8		異常なし	異常なし	なし	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-
								加振前	加振後	5分	10分	15分	20分	25分	30分
	八戸	3軸	0.8		異常なし	異常なし	なし	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	八戸	3軸	1.0	中地震想定	異常なし	異常なし	なし	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	JMA	3軸	1.0	中地震想定	異常なし	異常なし	なし	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	JMA	3軸	0.8		異常なし	異常なし	なし	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	JMA	3軸	0.8	3mフレキ吊りボルト外し	異常なし	異常なし	なし	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	八戸	3軸	0.8	3mフレキ吊りボルト外し	-	-	-	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-
	JMA	3軸	1.4	3mフレキ吊りボルト外し	異常なし	異常なし	なし	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	JMA	3軸	1.6	3mフレキ吊りボルト外し	異常なし	異常なし	なし	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	八戸	3軸	1.2		異常なし	異常なし	なし	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	-	-
	八戸	3軸	1.2	3mフレキ吊りボルト外し ブレース2対	-	-	-	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-
	八戸	3軸	2.4	3mフレキ吊りボルト外し ブレース2対	異常なし	異常なし	-	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

\* これらの欄においては、天井ボードを開け、3.3.5「機能維持確認方法」に記した詳細な確認を行った結果を記している。  
「-」のケースにおいてはその詳細な確認は行ってはいないが、振動台廻りからの目視確認は行っている。

\*\* 圧力は3通りの巻き出し配管方式について監視したが、全て一定であったので一つの値のみ記入している。

## SP機能維持確認実験：まとめ

- ・全てのケースにおいて天井及びスプリンクラー配管・ヘッドの損傷は無く、またスプリンクラー配管の空気漏れも確認されなかった。
- ・中・大規模事務室空間に標準的な仕様で施工されたスプリンクラー設備については、中地震によって機能損失が起きる可能性は小さいと思われる。
- ・レベル1地震に対する応答の2.4倍程度の応答を与えた場合でも天井及びスプリンクラー設備に損傷は生じておらず、本実験で対象とした19階を越える高層部分に対しても、標準的な仕様であれば、中地震に対してスプリンクラー設備の損傷は起きにくいと考えられる。