



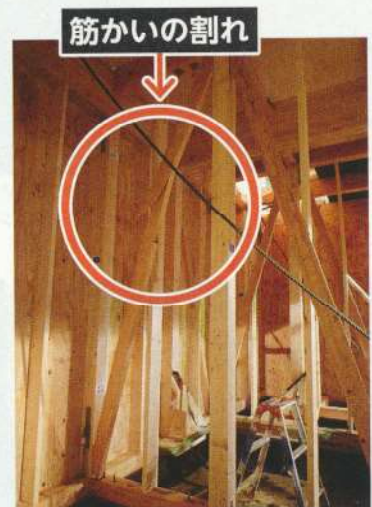
〔写真9〕
合板、金物、筋かいで損傷発生

構造用合板で多発したくぎの破断。手で引っ張ると抜けてしまった。「くぎの損傷は切れる、抜ける、めり込む、の3種類ある。繰り返しの揺れによる影響もあって、今回は切れたくぎが多かった。切れたくぎは耐力がゼロになるので、大きな揺れを受けた建物ではくぎの損傷状況に注意が必要だ」と河合教授（写真：左2点は宮澤健二）



〔写真10〕柱の引き抜き力でボルトに緩み

1階駐車場まわりでは、複数のホールダウン金物のボルトに緩みが発生した。柱の引き抜き力によって緩んだとみられる。座金まわりに空きが生じている。場所によっては柱に止めたビスもずれていた



〔写真11〕
筋かいに割れや座屈が

耐震棟Y-9通りの筋かいに生じた割れ。筋かいそのものが割れなくても、筋かいが面外にはらんで座屈する例や、筋かいに取り付く間柱が破断する例が複数発生した（写真：河合直人）

サトウ

狭小間口の3階建てに効くか

「くぎが切れるのが、予想以上に早かった。通常の静的加力試験では、層間変形角が30分の1までくぎは切れないというイメージがある。今回は大きな変形に繰り返しの揺れを与えた影響などが加わり、早い段階から切れた」。工学院大学の河合直人教授は、狭小間口3階建ての住宅を試

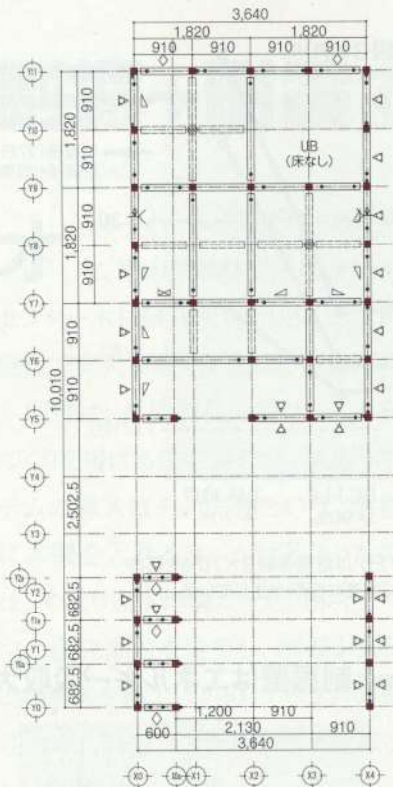
験体とした実大振動実験の様子をそう振り返る。

実験は1月20日、24日、27日の3日にわたり、耐力制振壁「Ω（オメガ）システム」を開発・販売するサトウ（東京都国立市）が実施した。

工学院大学の河合研究室、宮澤健二・同大学名誉教授などの協力を得て、防災科学技術研究所（茨城県つくば市）に耐震棟と制振棟を建設。20日には日本建築センター（BCJ）波

レベル2の90%に当たる320galを5回、24日と27日には同波2回と阪神大震災で神戸海洋気象台が観測したJMA神戸波の70%（570gal）を1回、それぞれ加振した。事前解析で、終局変位を超える応答変位を見込んでいる。

加振の結果、制振棟の一部と、耐震棟の多数の部位に損傷が発生した。構造用合板まわりでは、くぎが切れて浮き上がる（写真9）。ホールダウン



凡例	壁倍率	使用材料
	2.5	構造用合板9mm(大壁)
	2.0	筋交 45×90
	4.4	オメガ 600壁
	3.5	オメガ 910壁

〔図3〕1階駐車場に600mm耐力壁を並べる

27日の制振棟1階平面図。各棟では、左下の駐車場まわりに幅600mmの耐力壁や制振壁を4枚並べ、最大限バランスのよい構造とした。概して駐車場まわりの変位が大きかったが、Y5通りの構造用合板、Y7通りの筋かいなども損傷した



〔写真12〕駐車場の狭小間口

24日の試験体。左の耐震棟は、耐震等級3の70%の仕様。右の制振棟は、耐震棟の仕様に制振システムを付加した。2、3階に見える幅900mmのブレース状の制振システムは、リフォーム工事でも使いやすいよう上下の金物の位置を調整できる(写真:下とも本誌)



〔写真13〕幅600mmの壁4枚で偏心を抑える

24日の制振棟の1階駐車場まわり。狭小間口に駐車場を設けると幅900mmの耐力壁を確保するのが難しい。そこで幅600mmの耐力壁、制振壁を4枚並べ、建物の偏心をできるだけ抑える計画とした。この日は、手前から2枚目の壁を制振システムに置き換えた

金物のボルトは緩み(写真10)、筋かいに割れや座屈が発生した(写真11)。

2種類の幅の制振システム

建物は、偏心を抑えるため、1階駐車場に幅600mmの耐力壁を4枚並べた(図3、写真12)。耐震棟は、20日は耐震等級3に、24日と27日は耐震等級3の70%相当にした。後者を低減させたのは、振動台の制約から、24日と27日のJMA神戸波を70%に抑

える必要があったためだ。理論上は、耐震等級3の建物に100%のJMA神戸波を与えた場合と同じになる。

制振棟には、構造用合板を用いた幅600mmタイプ(写真13)とブレースを用いた幅900mmタイプのオメガシステムを配置した。幅600mmのタイプは壁倍率4.4、幅900mmのタイプは同3.5で大臣認定を得ている。20日と27日の制振棟は、この壁倍率を加算して耐震棟と同等の性能

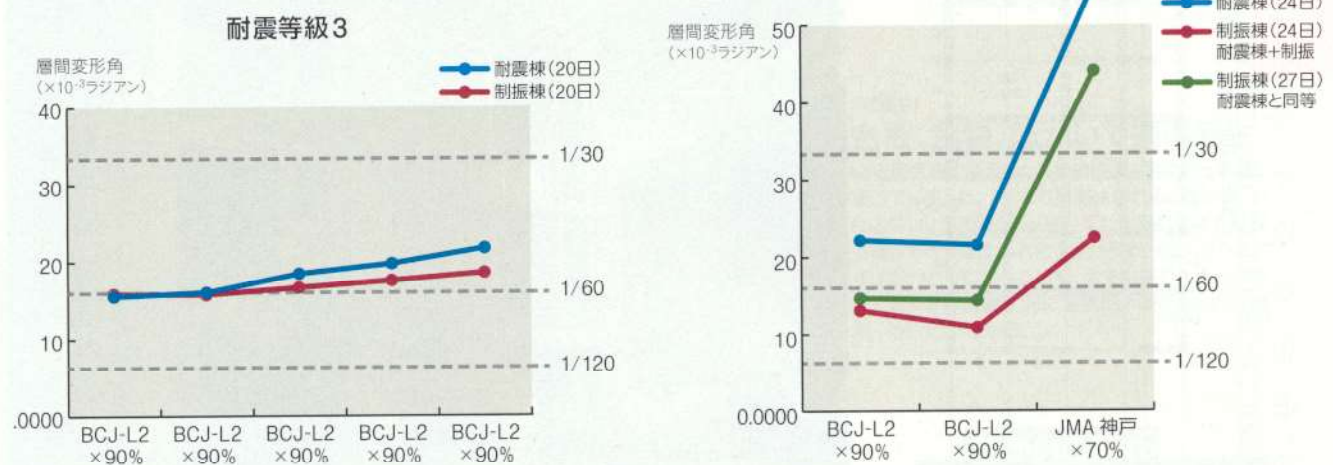
とし、24日は耐震棟の仕様に制振システムを付加する形とした。

大変形、繰り返しの揺れで差

耐震等級3相当の建物でも、狭小間口の各棟は特にJMA神戸波で大きく揺さぶられ、「設計上の安全限界を超えた」(河合教授)。そうしたなかでも、制振システムは一定の効果を発揮した。

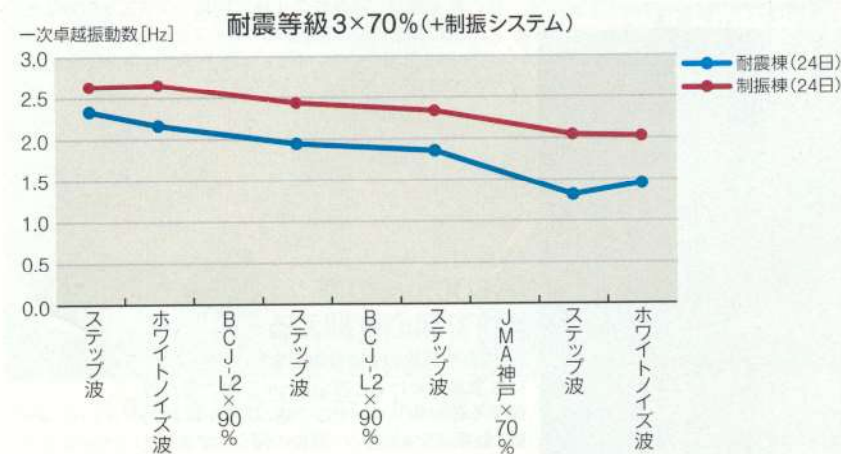
図4は、1階で最も層間変位が大き

【図4】繰り返し加振で層間変形角が増加



層間変形角の推移。各棟1階における最大変位を記録した。建物は左図(20日)が耐震等級3、右図(24日、27日)は耐震等級3×70%を基本とする。左図では揺れを繰り返すごとに耐震棟と制振棟の差が拡大。右図では、3回目のJMA神戸波×70%で特に大きな変形が生じている

【図5】架構の緩みも少しずつ拡大

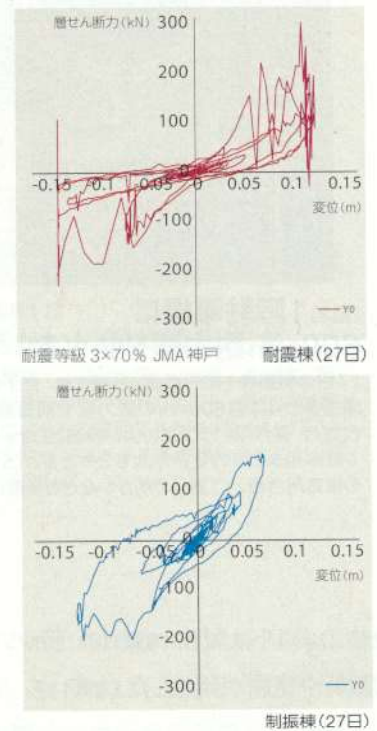


24日の実験における一次卓越振動数の変化。瞬間的に2mm動かすステップ波と、多様な周波数をまんべんなくもつホワイトノイズ波で建物を揺らし、振動数を計測した。数値が低いほど架構が緩んだ状態であることを示す。この日の制振棟は耐震棟の仕様に制振システムを付加した建物のため、耐震棟との差が大きくなった

かった箇所の層間変形角のグラフだ。20日(左)は、日本建築センター(BCJ)波を繰り返すごとに耐震棟と制振棟の差が広がった。24日と27日は、耐震棟、制振棟ともにJMA神戸波による変形が著しい。それでも、耐震棟(24日)が18分の1を記録したのに対し、制振棟では27日が23分の1、制振システムを余力として扱った24日は44分の1に収まった。

架構の緩みを示す一次卓越振動数(24日)も、耐震棟に比べて制振棟の低下が小さい(図5)。層せん断力-変位図では、制振棟がより小さく、ふくらみのある軌道で往復し、地震エネルギーを効果的に吸収している(図6)。「全般に、変形量の大きい領域や繰り返しの揺れに対して、制振の効果が認められる」と、実験に協力した宮澤名誉教授は指摘する。

【図6】制振壁はエネルギー吸収大



JMA神戸波(27日)の層せん断力-変位量の図。上の耐震棟に比べ、下の制振棟は中央付近の曲線がふくらんでいる。これは、制振システムがエネルギー吸収に寄与していることをあらわしている

「定量的なデータをさらに蓄積して設計者に提示し、実務で使いやすいようにしていきたい」とサトウの津田千尋・研究開発部長は話す。