

# VII. 部位別補強方法事例 制振・制震 粘弾性ダンパーによる壁の補強方法

真崎雄一 | MASA建築構造設計室

## 工法概要

「GVA工法」は、ダイヤモンド型筋かいの上下端に粘弾性材（VEM）を挿入したダンパー付き筋かい制振工法である。その制振効果を確認するための実験結果と、本工法を3階建の木造軸組構造住宅に設置した場合の補強効果を、限界耐力法を用いて検証する。また、過去の補強実施例を併せて報告する（写①～④）。

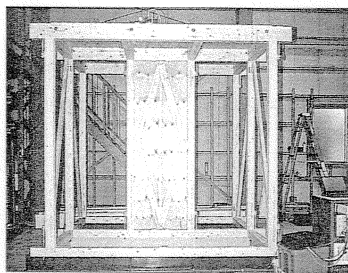
## 動的載荷実験の結果

①X筋かい、②合板、③X筋かい+GVA、④合板+GVA、⑤GVAの5タイプの動的載荷実験の結果を報告する（写①～④）。表1を参照するとGVA工法のみ動的性能は、X筋かいの値に比べて応答加速度が0.37に、変形が0.55に落ちている。本工法とX筋かいを組み合わせると、応答加速度が0.85に、変形が0.77とX筋かいの性状に近く、むしろ組合せでなく、本工法のみ使用が結果としてより高い性能を示している（図1, 2）。しかし、木造建築は強風による静的に近い外力に対しても安全を確保しなければならぬ。したがって筋かいとの併用は必要と考え、X

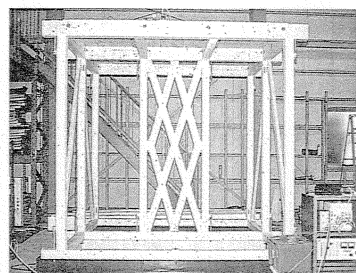
筋かいと本工法との併用を前提とした補強方法を標準工法とする。本試験は微小領域の振動試験による結果である。したがって、中地震、大地震を想定した試験を行うことにより、建物の弾性域に留まらず、弾塑性における性状を次に確認する。アクチュエーターによる動的強制加力試験の結果

2ユニット（910×2）による①構造用合板、②GVA、③構造用合板+

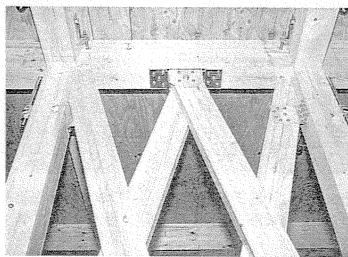
GVAの3体を、アクチュエーターによる動的強制加力試験を実施した。結果は①では繰り返し加力により構造用合板は釘が抜けたり、折れたりしてスリップ状態となり、層間変形の1/30での最大耐力が7.5kNと、静的加力試験の半分くらいにダウンした（図3）。②では本工法は初期耐力は合板と同じであるが、層間変形の1/30での最大耐力は27kNと上昇し、以後も耐力は上昇した（図4）。③で



①合板+GVA



②筋かい+GVA



③筋かい+GVA上部ダンパー



④筋かい+GVA下部ダンパー

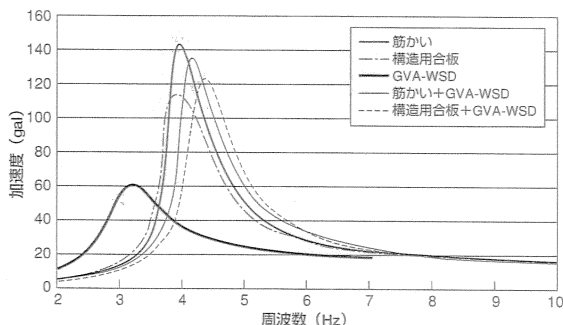


図1 加速度計測データ

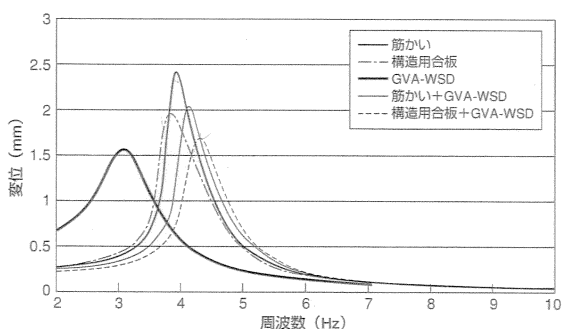


図2 変位計測データ

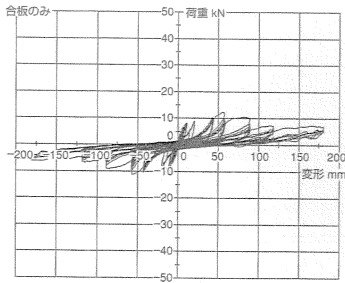


図3 ①構造用合板の動的強制加力試験

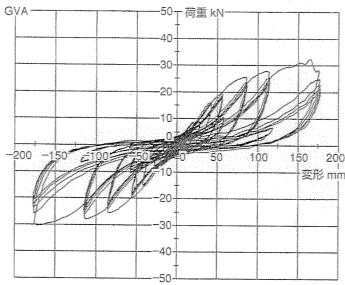


図4 ②GVAの動的強制加力試験

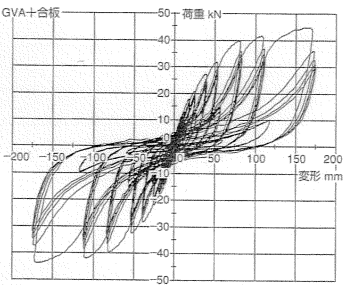


図5 ③構造用合板+GVAの動的強制加力試験

特筆すべきことは、合板の損傷が合板の単体試験よりも軽微であったことで、①+②の履歴が、2つを加算した以上の1.2倍の耐力を保持したことである(図5)。新潟県中越地震の場合、震度7の本震に加えて震度5クラスが10回程度余震として生じた例から、繰り返しの加力に対する建物損傷を防止するために、「GVA工法」は有効と考えられる。

木造3階建軸組構造住宅の限界耐力法による耐震診断・補強設計案

ダンパーの効果を評価する耐震診断法の一つに限界耐力法がある。今回、既存の木造3階建軸組構造住宅を、限界耐力法による耐震診断を行った結果、補強が必要と判断されたので、同工法による制振ダンパーの

表1 動的載荷実験

| タイプ         | 結果 (入力加速度を343.9galに基準化) |              |                      |                 |              |          |
|-------------|-------------------------|--------------|----------------------|-----------------|--------------|----------|
|             | sin波加振<br>固有周期Hz        | 入力変形<br>(mm) | 応答値 (比較)<br>加速度 (比率) | 変形 (比率)<br>(mm) | 剛性<br>(t/cm) | 壁倍率剛性換算値 |
| X筋かい        | 3.9                     | 5.772        | 167.6                | 2.79            | 1.350        | 4.00     |
| 合板 (間柱)     | 3.9                     | 5.78         | 107.5                | 1.79            | 1.350        | 4.00     |
| X筋かい+GVA    | 4.1                     | 5.154        | 142.5                | 2.15            | 1.492        | 4.42     |
| 合板 (間柱)+GVA | 4.3                     | 4.69         | 122.5                | 1.88            | 1.641        | 4.85     |
| GVA (間柱)    | 3.2                     | 8.46         | 62.5                 | 1.55            | 0.909        | 2.69     |

(比率)はX筋かいの値を基準としている/剛性は、固有周期より算出した動的剛性/壁倍率剛性換算値は、X筋かいを4倍とした場合の剛性比例の換算値

表2 木造3階建軸組構造住宅の限界耐力法による耐震診断・補強設計案

| 項目            | 階数              | 階重量Wi (t)                 | Σwi (t)               | Ai分布                      | 壁種類                  |
|---------------|-----------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| 共通事項          | 3階              | 8.39                      | 8.39                  | 1.635                     | A:筋かい (45×90)        |
|               | 2階              | 15.51                     | 23.91                 | 1.231                     | B:構造用合板9.0mm片面       |
|               | 1階              | 17.30                     | 41.20                 | 1.000                     | 制振ダンパー付筋かい (GVA-RD2) |
|               | ①既存建物診断 (X方向)   |                           | ②制振ダンパーによる補強設計案 (X方向) |                           |                      |
| 最大荷重・変位       | 階数              | 最大荷重 (kN)                 | 最大荷重変位 (mm)           | 最大荷重 (kN)                 | 最大荷重変位 (mm)          |
|               | 3階              | 97.59                     | 90                    | 122.35                    | 90                   |
|               | 2階              | 138.61                    | 90                    | 163.38                    | 90                   |
|               | 1階              | 181.07                    | 90                    | 205.50                    | 90                   |
| 安全限界耐力・変位     | 階数              | 安全限界耐力 (kN)               | 安全限界変位 (mm)           | 安全限界耐力 (kN)               | 安全限界変位 (mm)          |
|               | 3階              | 60.18                     | 30                    | 68.43                     | 30                   |
|               | 2階              | 129.07                    | 60                    | 146.76                    | 60                   |
|               | 1階              | 180.73                    | 90                    | 205.50                    | 90                   |
| 安全限界値         | 安全限界時有効質量       | $M_{us}=38.24t$           | 安全限界時有効質量             | $M_{us}=38.24t$           |                      |
|               | 有効質量比           | $R_{em}=0.933$            | 有効質量比                 | $R_{em}=0.93$             |                      |
|               | 安全限界時耐力         | $Q_s=180.73kN$            | 安全限界時耐力               | $Q_s=205.50kN$            |                      |
|               | 安全限界時代表変位       | $\Delta_s=0.14m$          | 安全限界時代表変位             | $\Delta_s=0.14m$          |                      |
|               | 安全限界固有周期        | $T_s=1.08秒$               | 安全限界固有周期              | $T_s=1.02秒$               |                      |
|               | 安全限界時代表加速度      | $a_s=473cm/s^2$           | 安全限界時代表加速度            | $a_s=537cm/s^2$           |                      |
|               | 安全限界時代表速度       | $V_s=82.1cm/s$            | 安全限界時代表速度             | $V_s=82.1cm/s$            |                      |
| 分布係数          | 階数              | 外力分布係数bsi                 | 加速度分布係数Bsi            | 外力分布係数bsi                 | 加速度分布係数Bsi           |
|               | 3階              | 1.00                      | 0.84                  | 1.00                      | 0.84                 |
|               | 2階              | 1.01                      | 0.84                  | 1.01                      | 0.84                 |
|               | 1階              | 0.71                      | 0.59                  | 0.71                      | 0.59                 |
| 損傷限界・荷重・変位    | 階数              | 荷重 (kN)                   | 変位 (mm)               | 荷重 (kN)                   | 変位 (mm)              |
|               | 3階              | 56.00                     | 22.5                  | 64.48                     | 22.5                 |
|               | 2階              | 83.45                     | 22.5                  | 91.94                     | 22.5                 |
|               | 1階              | 108.98                    | 22.5                  | 117.48                    | 22.5                 |
| 損傷限界耐力・変位     | 階数              | 損傷限界耐力 (kN)               | 損傷限界変位 (mm)           | 損傷限界耐力 (kN)               | 損傷限界変位 (mm)          |
|               | 3階              | 38.29                     | 15.0                  | 39.11                     | 15.0                 |
|               | 2階              | 77.83                     | 22.5                  | 83.89                     | 22.5                 |
|               | 1階              | 108.98                    | 22.5                  | 117.46                    | 22.5                 |
| 損傷限界時         | 損傷限界時有効質量       | $M_{ud}=35.96t$           | 損傷限界時有効質量             | $M_{ud}=35.96t$           |                      |
|               | 有効質量比           | $R_{em}=0.87$             | 有効質量比                 | $R_{em}=0.87$             |                      |
|               | 損傷限界時耐力         | $Q_d=108.98kN$            | 損傷限界時耐力               | $Q_d=117.46kN$            |                      |
|               | 損傷限界時代表変位       | $\Delta_d=0.04m$          | 損傷限界時代表変位             | $\Delta_d=0.04m$          |                      |
|               | 損傷限界固有周期        | $T_d=0.76秒$               | 損傷限界固有周期              | $T_d=0.73秒$               |                      |
|               | 損傷限界時代表加速度      | $a_d=303.1cm/s^2$         | 損傷限界時代表加速度            | $a_d=326.6cm/s^2$         |                      |
|               | 損傷限界時代表速度       | $V_d=36.5cm/s$            | 損傷限界時代表速度             | $V_d=38.0cm/s$            |                      |
|               | 建物の塑性率          | $D_f=1.9$                 | 建物の塑性率                | $D_f=1.8$                 |                      |
| 加速度低減率        | 建物の等価粘性減衰定数     | $h=0.0577$                | 建物の等価粘性減衰定数           | $h=0.1698$                |                      |
|               | ダンパーの付加等価粘性減衰定数 | $h_d=0$                   | ダンパーの付加等価粘性減衰定数       | $h_d=0.068$               |                      |
|               | 振動の減衰による加速度の低減率 | $F_h=0.73$                | 振動の減衰による加速度の低減率       | $F_h=0.56$                |                      |
| 各階のせん断力 (地震力) | 階数              | 記号                        | せん断力                  | 記号                        | せん断力                 |
|               | 3階              | $P_{S3}$                  | 48.82kN               | $P_{S3}$                  | 39.70kN              |
|               | 2階              | $P_{S2}$                  | 91.28kN               | $P_{S2}$                  | 74.22kN              |
|               | 1階              | $P_{S1}$                  | 71.59kN               | $P_{S1}$                  | 58.21kN              |
| 総合判定          | 必要安全限界耐力        | $Q_{Sn}=211.69kN$         | 必要安全限界耐力              | $Q_{Sn}=172.12kN$         |                      |
|               | 安全限界耐力          | $Q_s=180.73kN$            | 安全限界耐力                | $Q_s=205.50kN$            |                      |
|               | 総合判定            | $Q_s/Q_{Sn}=0.854 < 1$ NG | 総合判定                  | $Q_s/Q_{Sn}=1.194 < 1$ OK |                      |

設計案と比較して紹介する(表2)。制震ダンパーはX方向2箇所、Y方向2箇所の計4箇所を3階建ての各階に均等に配置したので総数は12箇所となる。ダンパー費用は60万円で筋交+取り付け費用の5万円を加えると合計65万円が必要となる。

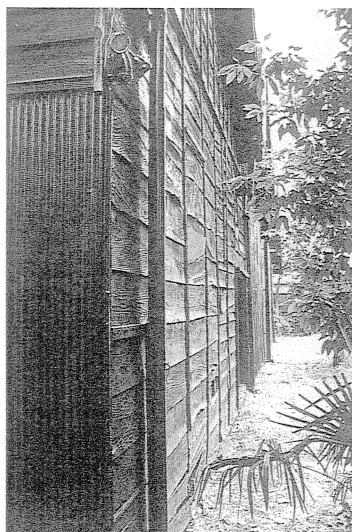
#### 補強実施例

旧桐生織物倉庫は、群馬県桐生市で織物の街として栄えた昭和初期に建築されたもので、木造鋸屋根の織物工場としては市内で最も古い物である(写5⑧)。規模は平家建ての延床面積243m<sup>2</sup>今回「桐生森芳工場」として、芸術家の拠点とすべく創作活動の工房として再生したものである。築70年を経過した建物は鬱蒼とした周囲の木々に囲まれ、それ自体が芸術品としての風格をもち、できればそっとしておきたいものであるが、構造的には基礎はなく、土台と柱の根元は腐れによる劣化が激しく、診断の結果建物をジャッキアップのうえ、屋根、梁、一部の柱を除いて完全に取替へ、連続布基礎を打つこととした(写7⑧)。内部は広い工房としての空間が必要であることから、見た目にも美的で、かつ耐震的な同工法の改良版を採用した(写9⑩)。仕様箇所は壁のない妻行きに6箇所設置した。諮らざるも新潟中越地震では、桐生市内も震度5弱の地震を記録したが、本建物の揺れは感じられなかった、との感想が住人から寄せられた。

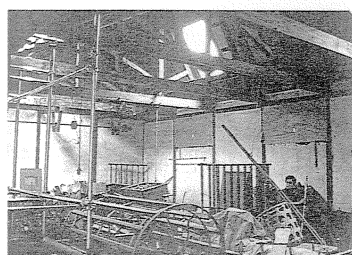
(まさき ゆういち)

#### 【謝辞】

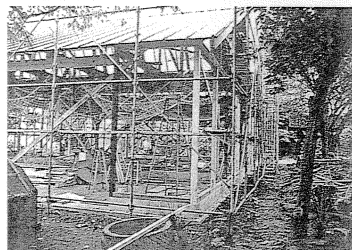
本建物では、GVA友の会および㈱住宅構造研究所の協力を得ました。桐生森芳工場改築に際しては建築主の森芳氏、設計者のコタカ建築設計事務所の小高潔氏、桐生再演の上村豊氏ほか、メンバーの方々の協力を得ました。記して謝意を表します。



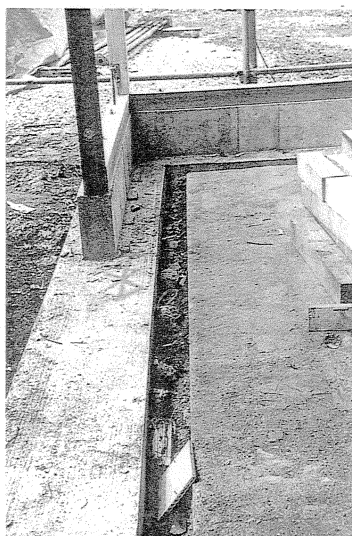
⑥改修前外壁下見板張り



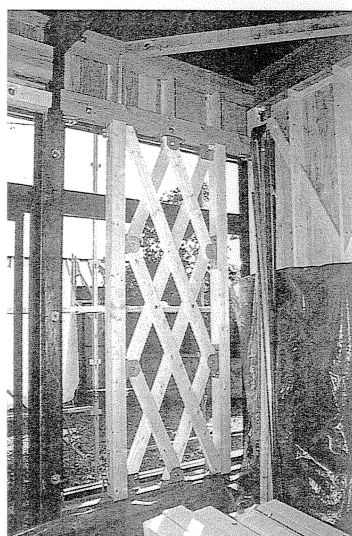
⑥改修前内部



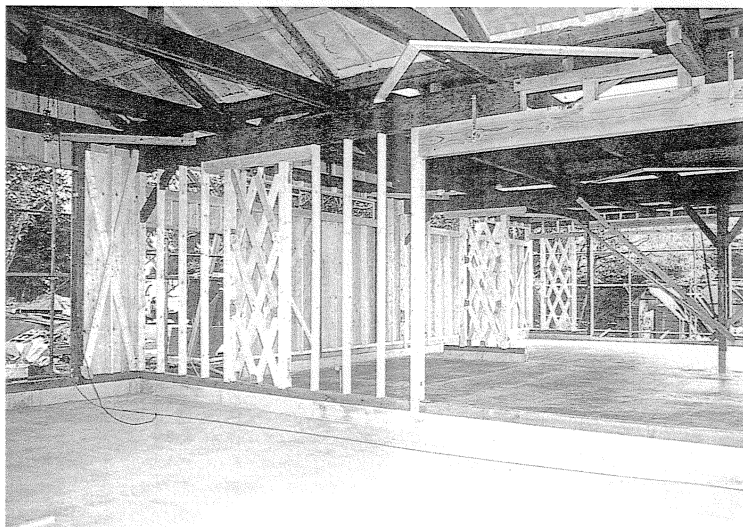
⑦改修中外観



⑧連続布基礎工事



⑨外壁側GVAダンパー設置



⑩内壁側GVAダンパー設置