

2001 年芸予地震の経験と耐震補強による RC 建物の固有周期の変化

愛媛大学大学院	フェロー	森 伸一郎
愛媛大学工学部	学生会員	○村上 裕之
愛媛大学工学部	正会員	河野 幸一

1. はじめに

2001 年 3 月 24 日の芸予地震では松山市では震度 5 強の揺れが観測され、アンケート震度調査では、愛媛県松山市にある愛媛大学城北キャンパスでは震度 6 弱の揺れがあったと推定されている。キャンパス内のいくつかの建物では、地震より以前から常時微動や人力加振より振動特性が測定されており、また、その後に行われた修復工事前後でも測定されている。さらに、2007 年夏から 2008 年春にかけて耐震補強工事が実施された。

そこで、地震被災の前後、被害補修工事前後に加えて、新たに耐震補強工事前後で常時微動測定を行い、これらの事象の前後による固有周期の変化を検討した。

2. 対象建物の特徴と測定箇所

図-1 に愛媛大学城北キャンパス内の建物と測定地点

を示す。芸予地震に先だって振動測定が行われたのは工学部 2 号館、工学部 4 号館、工学部本館、総合研究棟 2 の 4 つの建物であり、いずれも RC 造である。これらの建物では、壁・柱・梁の亀裂、コンクリートの浮き、欠損、ガラス破損、タイル剥離等の被害が見られた。

地震後の修復工事は、亀裂幅が 0.1 mm 未満の場合に自動式低圧エポキシ樹脂注入工法が用いられ、0.1 mm 以上または貫通ひび割れのものに対しては U カットシール材充填工法が用いられた。浮き部に対してはエポキシ樹脂注入工法が用いられた。欠損部には爆裂部補修が行われた。

また、耐震補強工事が行われたのは、図書館、工学部 2 号館、共通教育講義棟、法文学部講義棟、教育学部 2 号館 5 つの建物である。主な工事の内容として制震ブレース補強、鉄骨ブレース補強、柱・壁への炭素繊維補強、スリット工事、鉄板巻き、法文学部講義棟では PC フレーム補強が行われた。

測定箇所は建物屋上、1 階、周辺地盤である。2001 年以前は、水平動は PK-130H、上下動は PK-130V で、共に加速度換振器（勝島製作所製）を使用した単点測定である。2002 年以降は 2 秒まで平坦な利得特性の 3 成分速度計 CR4.5-2S を用いて GEODAS（物探サービス社製）を使用して 2 点または 3 点同時測定である。水平 2 成分は建物長辺・短辺方向に合わせ、それぞれ EW 成分と NS 成分となる。

3. 解析方法

解析では良好な時間帯から 20.48 秒間を 1 セグメントとし、複数のセグメントでフーリエ解析を行い、スペクトルやその比についてアンサンブル平均を求め、バンド幅 0.5 Hz の Parzen ウィンドウを施した。ただし、ノイズの影響を考慮して生のスペクトルにより卓越部分を判読して、ウィンドウ処理したスペクトル（比）で、それらに対応する 1 次卓越振動数を読み取った。本来なら建物系、建物-地盤連成系の H/H スペクトル比に基づくのが望ましいが、過去に地盤の測定が行われていないものは屋上のフーリエスペクトル代用する。読み取った卓越振動数の逆数を固有周期として取り扱った。

4. 解析結果と考察

図-2 と図-3 にそれぞれ NS 成分と EW 成分の芸予地震前後、修復工事後の固有周期の変化を示す。いずれの建物でも固有周期の長周期化が認められ、NS 成分と EW 成分の伸びはそれぞれ、工学部本館で 21%、22%、工学部 4 号館で 14%、16%、総合研究棟で 9%、20%、工学部 2 号館で 6%、25%である。短辺方向は伸びが小さく、長辺方向で伸びが大きいのはいずれも共通しており、特に建築年代の新しい前 2 者ではその差は小さく、古い後 2 者ではその差が大きい。後 2 者で、EW 方向の建物中央を走る廊下に沿う壁にせん断ひび割れが多く、また、その方向の梁と壁の間の損傷が大きい被害と整合している。また、補修工事後も定期的に測定された工学部 4 号

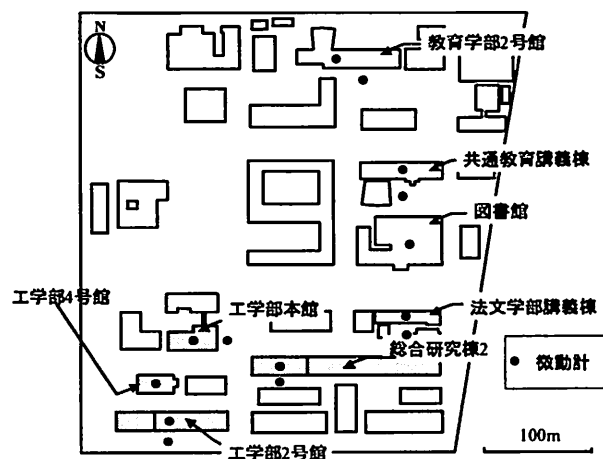


図-1 愛媛大学城北キャンパス内の建物と測定箇所

館と工学本館では補修工事の前後やその後も固有周期の変化は見られず、鉄筋腐食を目的としたエポキシ樹脂注入工法による補修では振動特性から見た構造性能の改善には寄与しないことが明らかとなった。

図-4と図-5にそれぞれNS成分とEW成分の耐震補強に伴う建物系固有周期の変化を示す。これらは建物1階に対する建物屋上の水平動スペクトル比によるものであり、建物系の固有周期を表している。いずれの建物でも固有周期の短周期化が認められ、NS成分とEW成分の低減はそれぞれ、図書館では68%、66%、教育学部2号館では87%、76%、法文学部講義棟では84%、84%、工学部2号館では96%、89%、共通教育講義棟では95%、70%である。いずれもEW方向での改善効果大きい。これは南北外面に取り付けられた制振ブレースの効果が発揮されたと考えられる。特に図書館の低減効果が大きい、これは直交する両構面に制振ブレースが取り付けられた効果が大いと思われる。

また、地震前から振動特性がわかっている工学部2号館では、NS方向の低減は主に一部の鋼板巻きや端境壁補強の効果であると考えられ、EW方向の改善はその効果に加えて南北外面に取り付けられた制振ブレースの効果によるものと考えられるが、固有周期は地震前の状態に戻ったのみである。これは、建物内部の非構造壁の損傷が補修されただけであり、特に補強されていないことから、非構造壁や梁の損傷による剛性低下が制振ブレースで補われた形であると考えられる。すなわち、設計で意図する構造性能は改善されたと考えられるが、設計で見込まない非構造壁の潜在的に持っている構造性能までは回復できたわけではなく、地震以前に耐震補強を行っていれば生じることのない損傷とそれによる付加的な性能は回復されないことを物語っている。したがって、損傷を受ける前に補強をすれば、一層の耐震補強効果が得られていたものと推察される。

5. 結 論

- (1) 芸予地震により、いれの建物でも固有周期の長周期化が認められ、その程度は短辺方向で小さく長辺方向で大きいという特徴があり、長辺方向では16%~25%の伸びがあった。その程度と被害の程度は整合していた。
- (2) 地震後の補修工事では固有周期の変化は見られず、エポキシ樹脂注入工法による補修では振動特性から見た構造性能の改善には寄与しない。
- (3) 耐震補強工事では固有周期の短周期化として効果が現れた。66~89%の固有周期低減効果が見られたが、制振ブレースの効果によるものと思われ、他の補強工事は剛性増加には寄与していない。また、一旦、損傷を受けた建物の固有周期は制振ブレース設置による耐震補強により元に戻る程度で、非構造壁に見込まれる潜在的な性能回復までには至らない。

謝辞: 過去の常時微動の測定とデータ保存では、愛媛大学理工学研究科地震工学研究室 OB の諸氏(特に、阿部雅弘氏(現・鹿島建設)、掛水真一氏(現・飛島建設))によるところが大きい。また、愛媛大学施設基盤部施設企画チームの皆様には建物に対する資料を提供していただきました。記して謝意を表します。

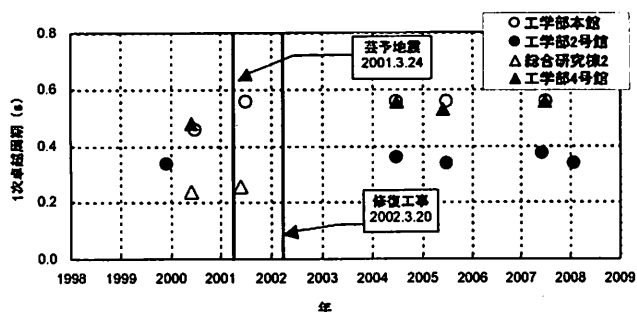


図-2 屋上 NS 方向スペクトルの固有周期の変化

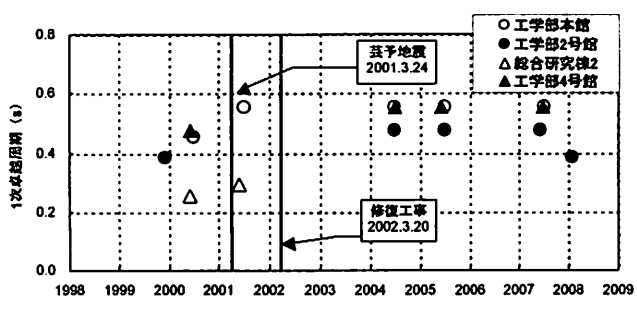


図-3 屋上 EW 方向スペクトルの固有周期の変化

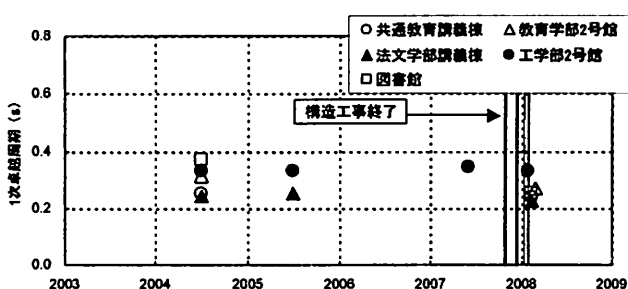


図-4 建物系 NS 方向スペクトル比の固有周期の変化

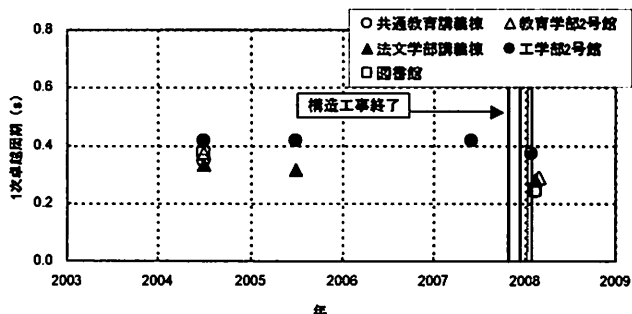


図-5 建物系 EW 方向スペクトル比の固有周期の変化