

第 I 部門 地震時に実構造物に導入される応力と地震計の記録との相関性に関する研究

|             |      |        |             |     |       |
|-------------|------|--------|-------------|-----|-------|
| 大阪市立大学名誉教授  | フェロー | 園田 恵一郎 | 大阪市立大学名誉教授  | 正会員 | 高田 直俊 |
| 大阪市立大学理学研究科 | 正会員  | 中川 康一  | 大阪市立大学理学研究科 |     | 根本 泰雄 |
| 明石高等専門学校    | 正会員  | 石丸 和宏  | 大阪市立大学工学研究科 | 正会員 | 角掛 久雄 |
| 大阪市立大学工学部   | 学生員  | ○島端 嗣浩 |             |     |       |

1. はじめに

平成 7 年兵庫県南部地震以降、より多くの地震計が主要地に配備されたことにより、平成 15 年宮城県北部地震（最大 2037gal）および平成 16 年新潟県中越地震（最大 1750gal）のように平成 7 年兵庫県南部地震（最大 818gal）に比べ非常に大きな最大加速度が計測され、より多くの地震波形データを得ていることから地震動の特性が刻々と明らかにされつつある。しかしながら、地震時にどのような応力またはひずみが構造物に発生したかを直接計測した例はほとんどない。過去の地震で生じた様々な破壊・損傷形態の中には、写真-1 のように屋上構造物の RC 柱が破壊しつつも、周囲のガラスが割れていないきわめて特異な破壊形態が見られる。これには衝撃力の存在が推察されるが、地震計にそのような記録が存在しないため、衝撃力に起因することは証明できない。地震計の計測記録には地震動の特性がすべて含まれているわけではないと考えられることから、構造物の破壊現象のなかには、通常地震計で得られた記録との関連がつかないものが存在する可能性があると考えられる。

そこで、本研究では、地震時に発生する加速度と実在構造物の RC 柱に発生する応力（ひずみ）を実測し、得られたデータより地震計の記録と応力計の記録との対応・整合性を検証するとともにデータの蓄積を行なうため、大阪市立大学内で計測システムの構築を行った。なお、計測装置を設置したのは H16 年 10 月に完成した大阪市立大学全学共通教育棟（写真-2 参照）である。また、地震応答特性を解析的に明らかにするために、解析のための構造モデルの提案ならびに実測地震波形に対する動的応答解析を行ない、構造モデルの妥当性の検証後、計測柱のひずみ応答特性の究明を試みた。

2. 計測システム

計測システムを設置した全学共通教育棟は地上 5 階建ての RC 構造物である。その 1 階と 5 階床面において地震計を設置し、構造物に作用する地震波形と構造物の地震による振動を計測することとした。計測時のトリガーレベルはそれぞれ、1 階が 1gal、5 階が 2gal とし、サンプリング周波数は 100Hz としている。また、写真-2 の赤丸で囲ったピロティの RC 柱の内部および表面それぞれのひずみを計測するため、ストレインゲージおよびピエゾフィルムセンサーを設置した。併せて、衝撃力を確認するため、その柱部近傍の 1 階床面に 3 方向加速度計を設置している。この RC 柱部のひずみと加速度の計測はサンプリング周波数を 5kHz と地震計よりも高周波数に設定している。トリガー信号は地震記録との相関性を確認することを目的としていることから 1 階の地震計から取り込むように設定をしている。これらの計測に関して、研究室において 1 階の地震波形（常時微動）を常に観測し、地震時に



写真-1 平成 16 年新潟県中越地震による被害例 1)



写真-2 大阪市立大学全学共通教育棟全景

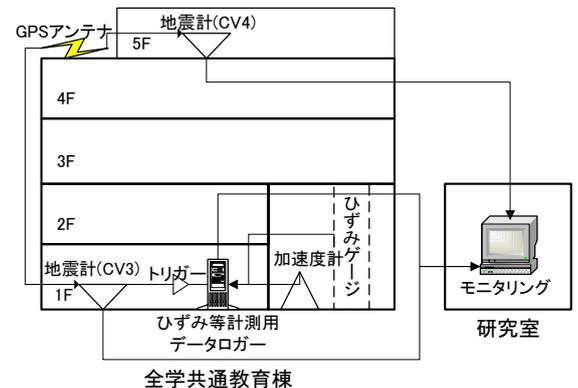


図-1 計測システムの概要

対応できるようにしている。概要を図-1に示す。

### 3. 観測状況

平成18年2月末現在まで、平成17年11月1日に和歌山県紀伊水道付近の深さ45kmを震源とする地震( $M_{JMA}4.3$ )の記録が観測されている。本地震記録に対するN-S成分の地震波形を図-2に示す。ただし、本地震による1階および5階観測点における最大加速度がそれぞれ約2および4galと非常に小さいため、RC柱のひずみは計測されなかった。

### 4. 地震応答解析

計測と合わせて対象となる構造物の地震応答解析も行うこととした。モデル化にあたり、全学共通教育棟は東西11径間、ピロティ部のみ2径間の5階建ての建築物であるが、地震計設置は5階床面であり、5階部分が4階までと同様な構造ではないことより、4階部への付加質量として南北2径間、東西11径間の4層の立体ラーメン構造モデルとしLumped Mass Modelを採用した。また、床、壁の影響はブレースモデル(斜材)により考慮した。解析モデルの全景を図-3に示す。節点数は160、要素数は547であり1階柱下端を基盤接点とし地震加速度を導入している。

ここでは、前述の地震での1階および5階の地震計の観測記録を基に解析モデルの検証を行う。検証は、地震計CV4(5階)の地震波形は構造物の振動特性を含む波形であるので、N-S, E-W方向のフーリエスペクトルと、1階の地震計の加速度記録を入力した時の解析モデルの時刻歴応答解析により求めた5階計測位置に最も近い位置での加速度応答のフーリエスペクトルと比較することで行う。この時用いる解析モデルは、観測地震波の振幅レベルが大変小さいことから、構造部材でなくとも影響が生じるものと考え、窓の影響も考慮したモデルを新たに作成し、それを用いることとした。

CV4(5階)の観測地震波および応答解析において減衰定数 $h=0.05$ の時を基準とし、減衰定数を変化させ、フーリエスペクトルの振幅値が最も良い対応を示した加速度応答のフーリエスペクトルを図-4に示す。ここでは、N-S成分のみを示す。図-4によると、観測地震波と解析により求めた加速度応答の卓越周期(固有周期)は共にN-S方向では約0.28(sec)、E-W方向では約0.4(sec)となり、ほぼ一致する結果を得られた。

### 5. おわりに

本研究では、地震時に実構造物に導入される応力(ひずみ)と地震波の相関性を解明するため、計測システムの確立を行った。その上で最大加速度が約2galである実地震記録を用いた応答解析を試みたが、今後は様々な周波数特性の地震波に対する解析を行い、データベース化を図ると共にモニタリングを継続していく予定である。

**謝辞:** 本研究は平成17年9月5日に亡くなられた小林治俊教授が代表研究者である科学研究費補助金、基盤研究(B)(1)一般(課題番号:15360246)により行われた。ここに記して深謝すると共に、故小林教授のご冥福をお祈りいたします。また、科学研究費補助金、若手研究(B)(課題番号:17760378 代表 角掛久雄)によっても本研究の一部が行なわれたことを付記し、謝意を表す。

### 参考文献:

- 1) 土木学会: コンクリートライブラリー115 2003, 2004年に発生した地震によるコンクリート構造物の被害<CD-ROM写真集>, 2005

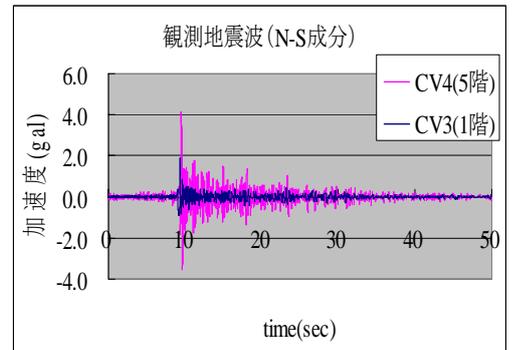


図-2 観測地震波

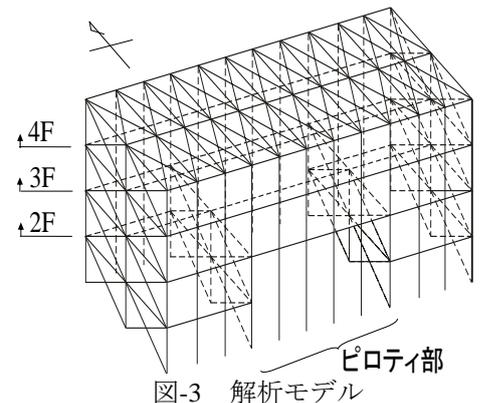


図-3 解析モデル

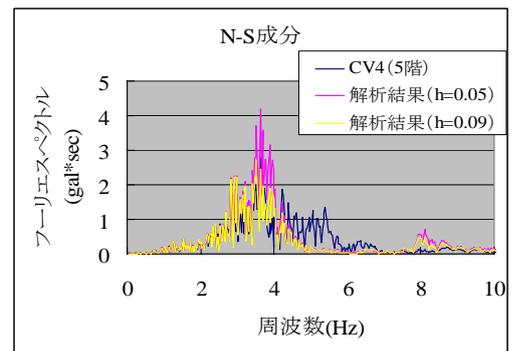


図-4 フーリエスペクトル