

兵庫県南部地震から15年 ～内陸地殻内地震に対する構造設計 の課題と展望

林 康裕*

15 Years after the Hyogo-ken Nanbu Earthquake – Present Status and Future Aspect of Structural Design against Inland Earthquakes

Yasuhiro HAYASHI *

Abstract

Many buildings suffered serious damage during the Hyogo-ken Nanbu earthquake. A lot of earthquakes occurred all over the Japanese islands and many earthquake ground motion records are obtained during these 15 years. Then, methods for evaluating strong ground motions and the building seismic performance have been improved drastically. On the other hand, it is expected that the inland shallow earthquakes represented by the earthquake due to the Uemachi fault zone will cause serious building damage in Osaka. Recently, structural engineers in Kansai area are trying to make a challenging design method to prepare for such earthquakes by themselves. In the paper, the movements concerning with inland earthquakes during these 15 years in Osaka, the present status and future aspect are described.

キーワード：上町断層，耐震設計，設計用地震動

Key words：Uemachi fault, Seismic design, Design ground motions

1. はじめに

兵庫県南部地震が1995年（H 7年）1月17日に発生し，建築物に甚大な被害が発生した。同地震以降，日本は地震の活動期に入ったといわれ，15年間，毎年のように全国各地で被害地震が発生している（図1）。そして，プレート境界型巨大地震

の発生が切迫しているとも言われている。このため，兵庫県南部地震以降，免震建物の計画棟数が急増していること（図2）からも分かるように，専門家以外にも建物の耐震性や安全性に関する関心が高まっている。

15年の間には，研究面でも大きな進展と蓄積が

* 京都大学工学研究科建築学専攻
Department of Architecture and Architectural Engineering, Kyoto University

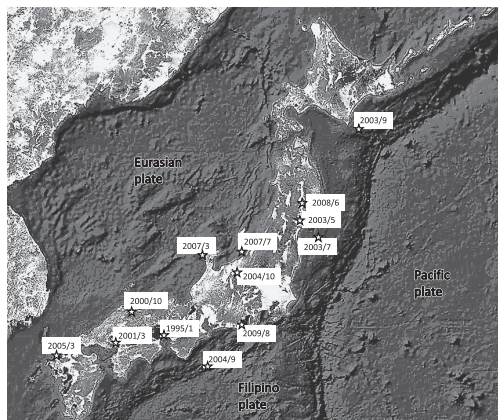


図1 兵庫県南部地震以降の日本の被害地震

あった。例えば、兵庫県南部地震以降、KiK-netやK-NETなどの強震観測網が全国に高密度配備され、多くの貴重な地震観測記録が蓄積されている。地下構造調査、活断層調査やボーリングデータ、長期評価などの成果も蓄積されてきている。また、世界最大の震動台であるE-ディフェンスが建設され、これまで不可能だった実大建物の震動台実験が実施され、貴重な実験データと映像資料が得られている。その結果、強震動予測技術や建物の耐震性評価技術は着実に高度化している。

ところで、兵庫県南部地震と同じ活断層による内陸地殻内地震も全国各地で発生している。しかし、内陸地殻内地震の再現期間は長く、地域毎に見れば地震発生確率はプレート境界型地震のそれに比べて、構造設計者の関心は必ずしも高いとは言えなかった。中低層建物が大多数を占める地方都市が被災したことで、中高層建物の被害が殆どなかったことも影響したかもしれない。

しかし、関西では、最近、上町断層帯の地震を中心とした内陸地殻内地震に対して、構造設計者が中心となって設計用地震動を決めようとする、従来にはない動きが出てきている。本論では、兵庫県南部地震以降の関西における内陸地殻内地震に対する対応の経緯を振り返るとともに、現在の動向と今後の課題について記述する。

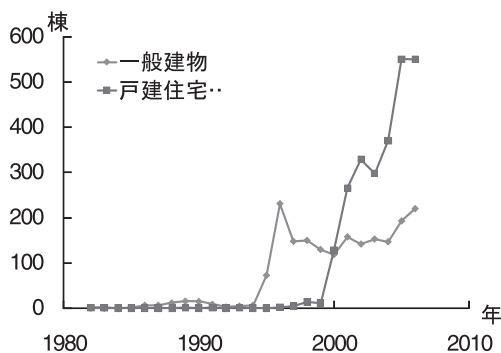


図2 免震建物の計画棟数の推移

2. H9年想定地震動と設計用地震荷重

1995年に発生した兵庫県南部地震を教訓として、大阪市では上町断層に対する地震被害想定を行い、その結果を踏まえて「大阪市土木・建築構造物震災対策技術検討会」が組織され、公共土木・建築構造物の耐震検討に用いるベースとなる①標準想定地震動（以下、H9年想定地震動）の作成と②設計用地震荷重（静的二次設計用地震荷重と設計用地震動）の策定を行っている^{1,2)}。このうち、静的二次設計用地震荷重については、目標耐震性能の設定を行い、公共建築物（市設建築物）の設計に用いられている。以下では、H9年想定地震動と設計用地震荷重の設定過程について概説する。

まず、上町断層系の震源モデル（断層長さは南北合計32km）を設定したうえで、大阪地域の堆積盆地の基礎構造を考慮した数値解析や、大阪地域で得られた地震記録および表層地盤の増幅特性をもとにして図3に示す地表38地点における地震動を予測している（H9年想定地震動）。

次に、東大阪と上町台地上は（Hゾーン）と、西大阪および埋立地盤（Lゾーン）、およびLゾーンとHゾーンの境界領域として幅2kmのMゾーンの3ゾーンに分割し（図3）、想定地震動特性を分析している。Lゾーンの想定地震動（例えば、4-31, 4-04）は、許容応力度等計算の二次設計用の地震荷重で概ねカバーできているが、Hゾーンの推定地震動（例えば、4-22, 4-14）は周期1秒付近を中心として上回っている。そこで、建築物の設計用地震荷重は、許容応力度等計算の静的な

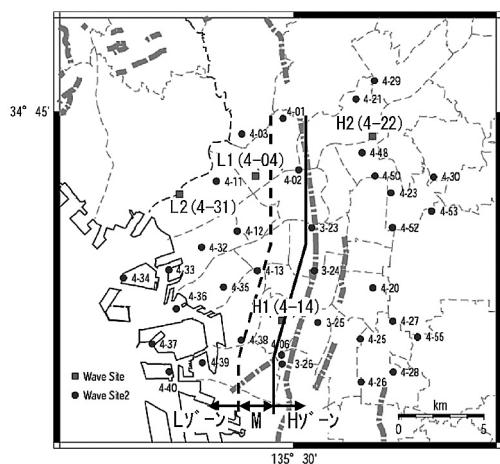
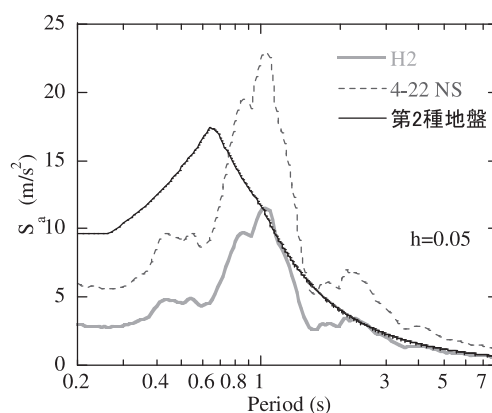


図3 地震動予測地点

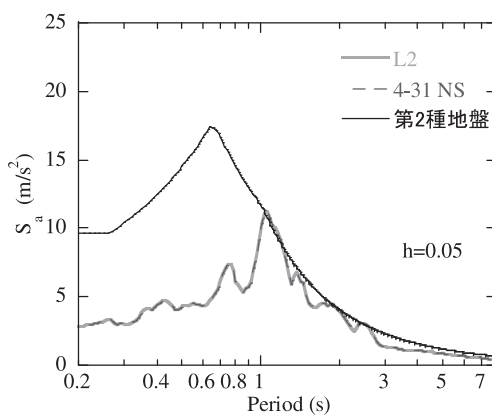
二次設計用の地震荷重レベル (Rt 曲線) に見合うようにレベル調整を行うため、加速度応答スペクトルを基準化した上で設定している。ここで、H9年設計用地震動 L1, L2は H9年想定地震動 4-04 (EW), 4-31 (NS) の各0.9, 1.0倍であるのに対して、設計用地震動 H1, H2では4-14 (EW), 4-31 (NS) の約0.5倍となっている (図4)。ただし、静的地震荷重については、許容応力度等計算で重要な弾性時固有周期に相当する1秒周辺の加速度応答スペクトル値に対して注意が払われ、建築基準法の規定に対して最大1.25倍程度の割り増しが行われている。

なお、H1, H2の元となった想定地震動 (4-22, 4-14) の地震動レベルは、兵庫県南部地震以降に記録された震源域における観測記録と比較しても、上町断層直上での予測波であることを考えると、決して過大なものとは言えない。許容応力度等計算の二次設計レベルに見合うようにレベル調整している主たる理由を要約すると、下記のようにされている。

- 1) 兵庫県南部地震においては、基準法で定めている以上の地震動が観測・推定されたが、実際に建物に入力した地震動レベルがどの程度であったかについて、ほとんど解明されていない。
- 2) 兵庫県南部地震における新耐震設計法で設計



(a) H2波



(b) L2波

図4 H9年想定地震動と設計用地震動

された建物の被害率は低く、建築基準法の地震荷重は、最低限の基準として概ね妥当であり、建物の用途や防災上の機能を考慮して余裕のある設計を行う事を意図しているために、急激な地震荷重の割り増しが、社会的合意を得にくい事に配慮している。

とされている。しかし、新耐震設計法施行以降に設計された建物であっても、兵庫県南部地震では中高層建物の被害率は無視できない程に高い (図5)。従って、中高層以上の建物については、上記の記述は必ずしも当てはまらない。しかも、H9年想定地震動や H9年設計用地震動は、兵庫県南部地

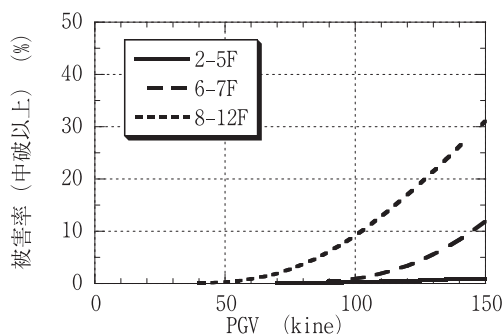


図5 新耐震設計法による建物の階数別被害³⁾

震と同じく、周期約1秒が卓越するように地震動が予測されているが、上町断層帯の地震の場合、より長周期側の約2～3秒が卓越する可能性が高く、そうなると中高層建物にとってより厳しい地震動となることが予想されていた。

その一方で、H9年の検討会成果は、公共建築物（市設建築物）の整備目標とされながら、民間建築物にも活用できることを目指して公開されており、特に大阪市「H9年想定地震動」は、大阪市域に建設される中高層以上の超高層建物あるいは免震建物など時刻歴応答解析により安全性を確認すべき場合に、数多く採用されていく。特に、H9年設計用地震動が公表された後、H12年に改正建築基準法が施行され、限界耐力計算法が提示されることとなるが、同計算法に基づく設計を行う上で重要な1.5～3秒の周期帯域のスペクトル値は、レベル調整により逆に告示で規定された地震動レベルよりも小さめとなっている（図4）。このため、後述のように、限界耐力計算法の施行によって、耐力の低い建物が設計されても、上町断層帯の地震動が菌止めとならず、断層直上に耐力の低い建物が造られていくこととなる（図5, 6）。

3. 限界耐力計算を用いた設計建物の耐震性能

有木ら⁴⁾は、平成12年4月から平成15年12月までに、限界耐力計算により設計された50棟について分析を行っている。対象建物の用途は全て共同住宅であり、構造種別はSRC造3棟を除き全てRC造である。また、架構種別については、主と

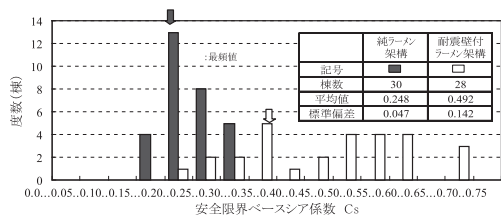


図6 限界耐力計算で設計された建物の安全限界耐力

して桁行方向は純ラーメン架構、張間方向は耐震壁付ラーメン架構となっている。さらに、対象建築物は14ないし15階建てで、高さ40～50mの中高層建物の割合が多い。

図6に、安全限界時のベースシア係数 C_s の頻度分布を示す。耐震壁付ラーメン架構方向に比べて、純ラーメン架構方向の C_s の方が低く、0.2以下と著しく小さな建物も存在することが分かる。この様に、安全限界時のベースシア係数が小さくなる場合は、分析の結果、表層地盤の弾性時の固有周期が0.3秒程度以下の地盤で、解放工学的基盤深さが比較的浅い良好な地盤であった。すなわち、純ラーメン架構方向の建築物の固有周期 T_a は、地盤の1次卓越周期に比べてかなり長いことから、建築物の固有周期における地盤の増幅効果は非常に小さくなってしまい、建築物へ入力される地震力が小さく設定されたことで、 C_s が小さくなったと考えられる。この事は、表層地盤の地震動増幅効果が小さい程、地震荷重を低く設定できるという、いわば限界耐力計算法の導入趣旨通りの結果であり、合理的な結果の様にも見える。

しかし、上町台地の様に直下に発生が懸念される活断層が伏在している場合（図7）や、深い堆積地盤構造に起因した地震動増幅効果が大きく影響を及ぼす場合にも、表層地盤における増幅効果だけで地震荷重が決定されてしまう事を意味している。もちろん、上町台地周辺であれば、上町断層帯の活動が建物の安全性に極めて大きな影響を及ぼす事は明らかであった。しかも、上町断層の地震発生確率は、地震調査研究推進本部によると⁵⁾、30年以内の地震発生確率が2～3%と国内でも高い部類に属しており、発生確率は決して小さな値ではない。発生確率が小さく思えるのは、上町断

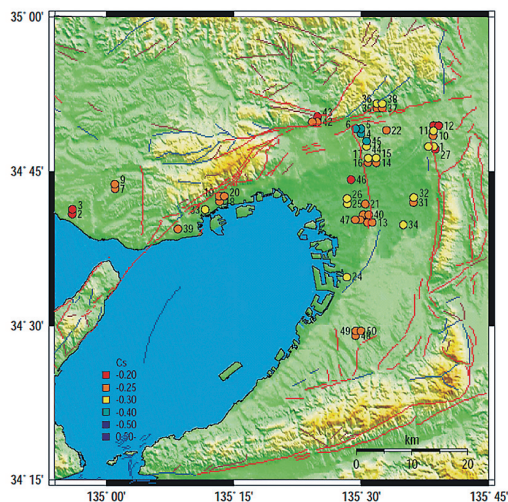
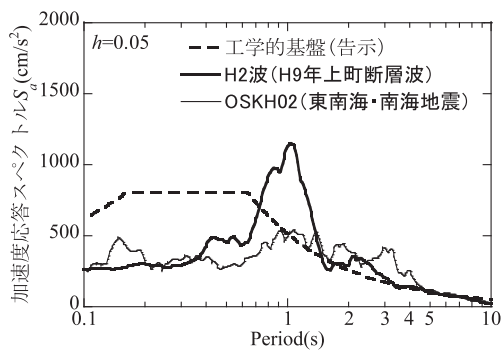


図7 限界耐力計算で設計された建物の立地地点

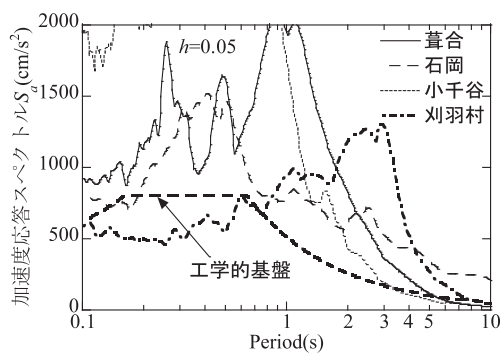
層の平均活動間隔が8000年程度と長いためであり、最新活動時期はすでに約28000年以降9000年前以前となっていて、いつ発生しても不思議ではない。しかし、兵庫県南部地震、構造技術者の上町断層に対する関心は決して高くなく、南海・東南海地震などのプレート境界型地震による長周期地震動に対する安全性検証が主たる関心事であった。そして、許容応力度等計算の静的な二次設計用の地震荷重レベルに見合う様にレベル調整されたH9年設計用地震動が、デファクトスタンダードのように高層建築物や免震建物の設計検討に用いられていたため、上町断層帯の地震の影響が考慮されることはほとんど無かった。

4. 上町断層帯の地震に対する各種予測

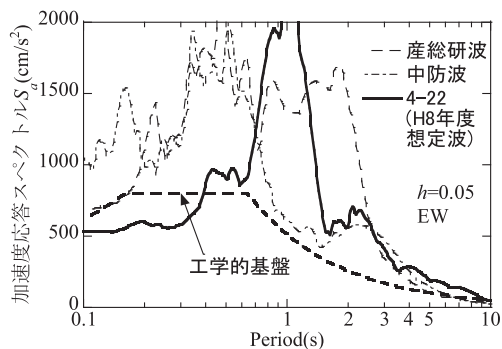
兵庫県南部地震の後、約10年の間に、K-NETやKiK-netをはじめとする強震動ネットワークによる震源域における強震観測記録、活断層調査や地下構造調査の調査結果、強震動予測手法の改良、などの蓄積により、精度の高い強震動評価が可能となってきた。そして、(独)産業技術総合研究所(H17, 産総研波⁹⁾、内閣府中央防災会議(H18, 中防波⁷⁾、大阪府・大阪市^{8,9)}(H19)などによって、上町断層など大阪府域に影響の大きい想定断層による強震動予測が実施されるようになってきた。



(a) 実務設計で慣用された予測波



(b) 観測記録



(c) 上町断層帯の地震に対する予測波

図8 各種地震動の加速度応答スペクトル

これらの予測波は、図8に示すように、現行の設計用地震荷重のレベルを大きく上回っているものが多い。しかし、近年の既往被害地震の強震観測記録にも、周期帯によっては現行設計レベルを大きく上回るものが見られ、観測波の地震動レベル

と予測波のレベルには大きな違いはない。

特に、大阪市においては、平成9年に想定地震動や設計用地震動が提示されているが、H18年度にはその後の地震学的知見を反映して大阪府・大阪府が共同して地震被害想定⁸⁾を行っている（H19年地震被害想定地震動）。そして、H19年度には地震被害想定途中段階で得られた上町断層帯地震35ケースを含む、内陸直下型地震72ケースの統計的グリーン関数法による強震動予測結果を利用し、公共土木・建築物の設計用地震動策定のベースとなる「想定地震動」の見直しを実施している⁹⁾。想定地震動（以下、H20年想定地震動）は、深部地盤構造や浅部地盤構造などの情報を反映して大阪府域をゾーン分割し、各ゾーン区分で設定されている。

想定地震動の見直しを実施する段階で様々な検討を行った結果、強震動予測結果の2秒以上の長周期領域における振幅は、断層モデルの設定の影響を大きく受け、その振幅に対するバラツキが非常に大きいことから、H20年想定地震動は、対象周期を0.2～2.0秒とし、2秒以上の長周期領域は対象範囲外とすることとしている。この長周期領域のバラツキは、上町断層程度の規模で発生する地震としては、実事象として起こりうる（アスペリティ・破壊開始点・建設サイトの相対位置関係にもよるが）範囲内でのバラツキであると考えられるものの、そのばらつきを直接的に設計に反映するためには、より建築物の設計実務を含めた詳細な影響検討を要したため敢えて適用範囲外とされた。ただし、H20年想定地震動を設計実務で用いることを考えた場合、中高層建物以上の安全性に最も深く関係する2秒以上の長周期帯域が適用範囲外となっているため、一般建物の構造設計では使われていない。

5. 予測地震動に対する建物応答

上町断層帯の地震に対する予測地震動を用いて、建物の地震応答解析を行った結果を以下に示す。検討に用いた建物モデルは、図9に示すような、高さ181mの40階ダンパー付S造建物(S40D、事務所)、高さ138mの40階RC造免震建物(RC40I、集合住宅)、高さ90mの30階SRC造建物(SRC30、集

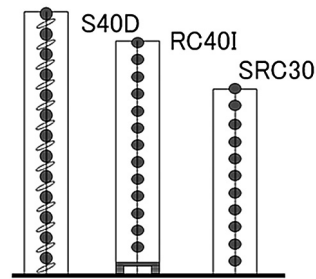
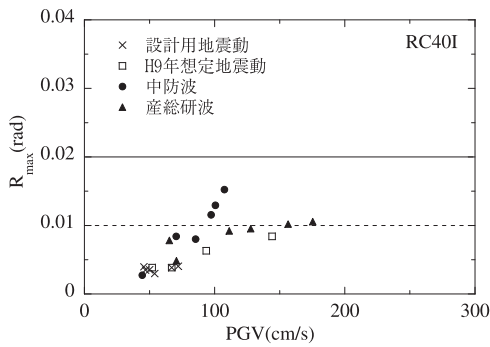


図9 検討対象建物モデル

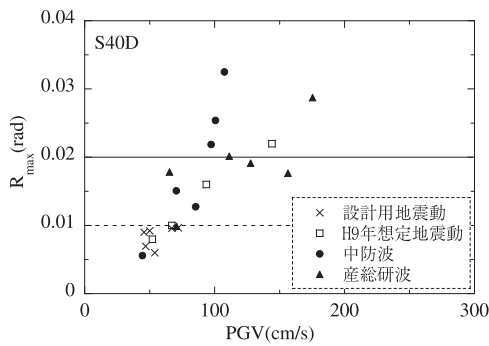
合住宅)の3種類である。

検討に用いた入力地震動は、設計用地震動、H9年想定地震動、中防波、産総研波であり、結果を図10に示す。設計用地震動には、上述のH1、H2、L1、L2波を含んでいる。同図より、慣用されてきた設計用地震動の場合には、最大層間変形角 R_{max} が0.01以下であるのに対して、H9年想定地震動を含む上町断層帯の地震の予測波では、免震建物であっても0.01を大きく超えており、予測手法や地点によって0.03を超えている場合がある。また、免震建物の免震層の変形は、予測手法によって70cm近くに達しているケースもある（図11）。なお、H19年地震被害想定地震動は、ここで用いた検討波の結果よりも大きな応答となっている場合が少なくないことを確認している。

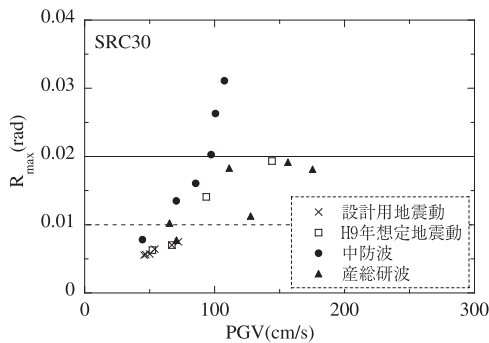
一方、入力地震動としては、上町断層帯の地震と生駒断層帯の地震に対し、大阪市中心地(梅田)を通る南北断面の想定地震動を用いて、10階建て相当(高さ40m)と25階建て(高さ100m)相当の1自由度系の非線形応答解析を行った結果を図12に示す。復元力特性は完全弾塑性型とし、降伏変形角は1/150、降伏せん断力係数 C_y はそれぞれ0.3と0.12としている。同図より、10階建て相当建物では最大層間変形角が大きくなる地域は断層近傍に限られるが、25階相当のように高層化すると最大層間変形角が大きくなる地域が広域化する傾向にある。さらに、25階相当の建物では、東西断面の何処に位置していても上町断層帯の地震が生駒断層帯の地震のいずれかが発生すれば、大きな層間変形角を経験することとなる。すなわち、中高層建物にとって、大阪では上町断層帯か生駒



(a) RC40階建て免震建物



(b) S造40階建て制震建物



(c) SRC造30階建て集合住宅

図10 想定地震動に対する最大層間変形角

断層帯のいずれかを考えるべきであり、内陸直下地震の影響を考えないで設計することが事実上考えにくい事を意味している。

なお、予測地震動や内陸地殻内地震の震源近傍におけるパルス性地震動に対する建物応答特性については、文献11)~13)に詳しい。

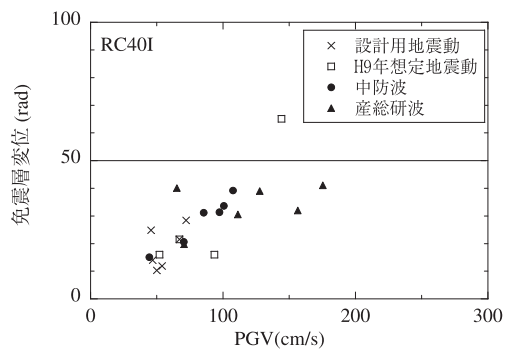
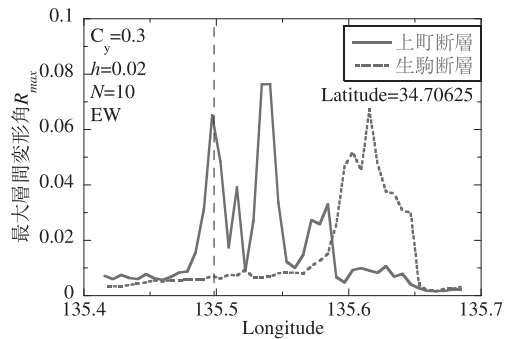
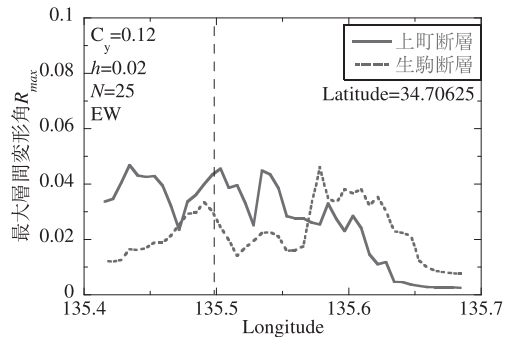


図11 RC40階建て免震建物の免震層変位



(a) 10階建て



(b) 25階建て

図12 梅田を横切る東西方向断面における最大層間変形角分布

6. 最近の動向

6.1 大震研の立ち上げと成果目標¹⁰⁾

上町断層帯の地震と予測地震動に対する建物への影響に関する研究成果が、日本建築学会近畿支部耐震構造部会（主査：京都大学 林康裕）の過去

約3年にわたる下記の3回のシンポジウムを中心として、上町断層に対して備えることの重要性が、行政、構造設計者などの間にも徐々に広まっていくこととなった。

- 1) H20.3.10開催『大阪を襲う内陸地震に対して建物をどう耐震設計すれば良いか?』¹¹⁾
- 2) H21.1.8開催『上町断層帯による想定地震動に対する建物の耐震設計を考える』¹²⁾
- 3) H21.10.23開催『内陸地震に対して構造設計者はどう対応すればよいか? 「地震荷重と構造設計』¹³⁾

その結果、構造設計実務で慣用されてきたH9年想定地震動は、見直しの時期にきていることが強く認識された。これを受けて見直しのための体制づくりについて種々模索された結果、JSCA 関西が主催する形で「大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動および設計法に関する研究会」(以下、「大震研」と記す)が立ち上げられ、5年間にわたる活動を始めることになる。

大震研は、大阪府下において建築構造設計および建築の発注等、関連する業務を行う団体(正会員、現時点で約40の企業・機関)から構成され、行政機関も協力会員として参画している。具体的な内容については、研究者及び選任されたJSCA 関西会員により構成する専門委員会が検討を行っている。

大震研の検討目標は以下のとおりである。

- 1) 上町断層帯等の大阪府域の内陸地殻内地震による設計用地震動を提示し、それらに対する構造設計法の基本的考え方を提示する。
- 2) 建築主をはじめとする一般建築利用者に対して、大阪府域の内陸地殻内地震に対する建物の安全性について理解を助けるための資料を提供する。

より具体的な検討内容は、以下に列举するとおりとされている¹⁰⁾。

- ・ H19年の地震被害想定結果、およびH20年の想定地震動に基づき、上町断層帯等の大阪府域の内陸直下型地震に対する建築物の設計用地震動を設定する。
- ・ 上記の地震動は強さのレベルに大きな幅を持つ

て想定されている。研究会では大きな幅のなかから、複数のレベルを設定し、それぞれに対応する設計用地震動を作成あるいは選択する(図13参照)。

- ・ 地震動を受けた建物の被害レベルの予測手法を設定する。これは従来からある性能設計の考え方(使用性確保、継続使用可能レベル、修復可能レベル)に加えて倒壊防止レベルまでを含んだクライテリア(最大層間変形角、部材角、部材塑性率、累積塑性変形倍率などの許容指標値)を設定する。S造、RC造、免震、制震構造等それぞれについて設定する。
- ・ 設計者は、建築主との協議を経て、選択した地震動レベルに対して、その損傷レベルを定めた性能設計を行う。研究会ではこの性能設計のレベルについて標準的なレベルを示すが、その他、複数のレベルを用意し、建築主や設計者が選択可能な資料を用意する。

大震研は、これまで国が定めた最低限の基準や行政が提示した設計用地震荷重をよりどころとしてきた構造設計者が、現時点で自らが最良と考える設計用地震動と性能レベルを提示するための行動に起こしたものであり、画期的な動きと考えている。

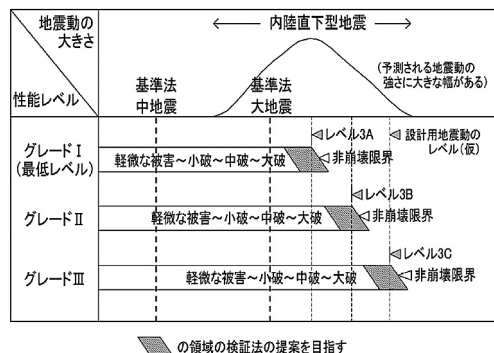


図13 地震動レベルに応じた性能設計(例)¹⁰⁾

6.2 今後の課題

建築構造設計者は動き始めた。しかし、大都市域であるとは言え、構造設計者の数は十分でない。姉歯事件後、構造設計作業が煩雑化して時間

的余裕が不足する中、内陸直下型地震に対しては基礎的な事でも未解明な部分が多く、研究者が果たすべき役割は大きい。最後に、以下では、今後の研究課題と考えている項目について記述する。

<震源域での地震動評価>

重要建物の設計においては、統計的グリーン関数法やハイブリッド法に基づいた地震動予測手法によりサイト波が作成されて用いられるようになってきている。しかし、断層モデル（特に、アスペリティーの配置、破壊開始点、断層破壊伝播速度など）の設定とともに深い地下構造によっても、予測波が大きく変化してしまう。断層近傍に立地する建物のサイト波を作成する上で、限られた数の予測波だけを用いて検討しても、それが何を検証したことになるのか明確でないことが多い。H9年想定地震動から設計用地震動を作成する際に、レベル調整を行われた事もこのような事が一因となっている。

一方、建物の耐震設計を行う上で、震源域におけるパルス性地震動のパルス周期とパルス速度振幅（以下、パルス特性値）の評価は極めて重要である。例えば、超高層建物の場合、1次固有周期よりも2次固有周期とパルス周期が近い場合の方が設計的に厳しい場合がある。パルス特性値の評価は、想定地震規模や地下地盤構造などの地域地震環境や既往の観測記録との整合性を考慮した上で、予測地震動の不確定性を考慮して一定のばらつきを考慮して地震荷重評価を行う必要がある。鈴木ら¹⁴⁾は、正弦波パルス入力を想定して定式化した加速度応答スペクトルを地震荷重として提案しており、これを用いればパルス特性値が変化したときの建物最大応答特性の変化を簡単に検討可能であると考えている。また、前述の地震動予測手法を用い、震源パラメータや地下構造がパルス特性にどのような影響を与えるかを定量的に示す情報を提示できれば、パルス特性値の設定に有用な情報を提供可能であると考えられる。

また、免震建物の免震装置の引き抜けや過大面圧の影響、柱の軸力変動の影響、P Δ 効果の影響などの観点から震源近傍の上下方向地震動と設計

用地震荷重への反映方法についても検討が必要である。

<建物の限界変形性能の解明>

設計での想定を大きく超えたパルス性地震動が予測されれば、建物は大きな変形を経験し、局部座屈や破断などの強い非線形挙動を呈する。パルス性地震動が作用した際の地震時挙動を評価するための、大変形領域の最大地震応答評価手法（建物のモデル化や復元力特性のモデル化など）と倒壊限界など限界変形の設定方法の構築を行う必要がある。例えば、通常の設計で用いられているせん断質点型の解析モデルでは、フレーム系の解析モデルに比べて特定層への損傷集中が過大に評価されすぎるため、魚骨型の解析モデルでの地震応答解析を行う必要がある。また、大変形領域における限界変形性能を評価するためには、部材実験データの蓄積が不可欠である。さらに、構造部材だけでなくALCパネル、カーテンウォールなどの非構造材の限界変形性能の把握も必要で、損傷の発生と脱落（図14）などにかかる幅広い変形領域の実験データの蓄積が臨まれる。

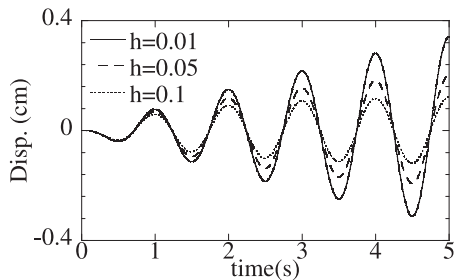
また、高層建物については、エネルギー吸収能力を付加した制震構造物とすることが一般的となっている。特に、南海地震・東南海地震に代表されるようなプレート境界型の巨大地震に対して、制震機構を付加して振動エネルギー吸収能力を高めることは、共振応答の回避、累積損傷エネルギーの減少、地震応答継続時間の減少などの観



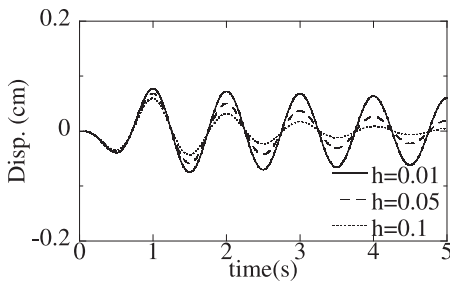
図14 外壁の脱落

点から効果的である (図15(a))。しかし、パルス性地震動の場合には波数が少なく、ダンパーによる最大変位応答低減効果はほとんど期待できない (図15(b))。むしろ、建物が大きく変形してダンパーの限界変形を超えた場合や、ダンパーの破壊性状などについても確認しておく必要がある。

一般には比較的安全と考えられている免震建物についても検討が必要である。免震装置は擁壁と免震建物基礎間のクリアランス以上には変形しないことを前提として設計されているため、限界変形性能や過大変形時の破壊機構が実証的に明らかとなっていない。また、免震建物が擁壁に衝突した後には作用する擁壁・地盤系のばねの復元力特性の設定方法の提案を行う必要がある。擁壁衝突後に、建物に作用する衝撃力(加速度)、建物の層間変形の増大、免震層の最大変形量について評価法を構築する必要がある。筆者らは、実大免震建物に初期変位を与えた後で自由振動させ、初期変位と反対側で擁壁に衝突させる擁壁衝突実験を実施している (図16)¹⁵⁾。貴重な実験データであり、実



(a) 正弦波入力



(b) 正弦波パルス (1波) 入力

図15 1自由度系の変位応答 (入力の最大加速度 1 Gal, 入力周期と固有周期は、ともに1秒)

験結果の分析やそのシミュレーション解析 (図17) などを通じて、早急な評価法の提案が臨まれる。

<断層変位>

上町断層のように活断層上に厚い堆積層が存在している場合には、断層変位によっては大きな地盤変形が発生する可能性がある。断層変位が生ずれば、台湾集集地震の際に見られたような建物の傾斜 (図18)・水平変位など強制変位が生ずる可能性がある。地震動よりも断層ずれが遅れて生ずるとの観測事実があるが、高層建物の場合には応答が長期間継続するため、建物応答変形と強制変位との組み合わせを考える必要がある。

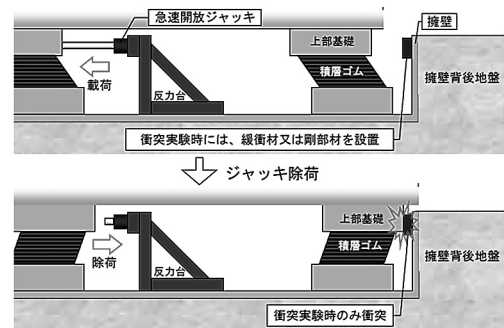
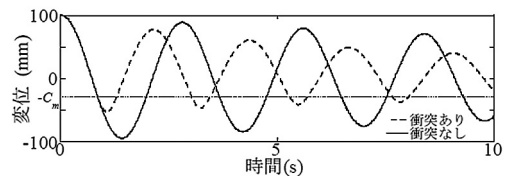
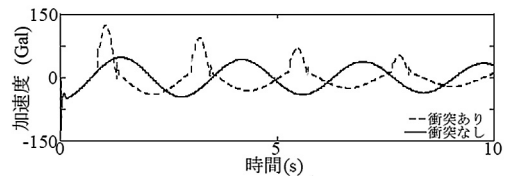


図16 免震建物の擁壁衝突実験の模式図¹⁵⁾



(a) 建物中央免震層層間変位



(b) 1F 加速度

図17 衝突実験のシミュレーション解析¹⁵⁾



図18 断層変位による建物の傾斜（台湾集集地震）

建物立地地点による予想傾斜量や水平変位量の提示，建物への影響度の評価手法の構築，影響度に応じた対策技術の開発などが，今後の研究課題と考えられる。

参考文献

- 1) 大阪市：大阪市土木・建築構造物震災対策技術検討会報告書，H9.3.
- 2) 大阪市：大阪市土木・建築構造物震災対策技術検討会建築物の耐震性向上の指針 解説編，H9.3.
- 3) 林康裕，宮腰淳一：兵庫県南部地震における被害率曲線，災害部門PD，地震動の特性と建築物の被害－経験と予測－，pp.15-20，1998.
- 4) 有木寛江，林 康裕，南 宏一，井上 豊：限界耐力計算法による設計建物の保有耐力の分析～表層地盤の増幅特性と相互作用効果の評価について～，日本建築学会技術報告集，第18号，pp.61-66，2003.
- 5) 地震調査研究推進本部：主要活断層帯の長期地震発生確率値（2008.1.1での算定），<http://www.jishin.go.jp/>
- 6) 産業技術総合研究所 活断層研究センター：大阪湾周辺地域の地震動地図 地震動予測研究成果報告暫定版，H17.4.11.
- 7) 中央防災会議：「東南海，南海地震等に関する専門調査会」（第26回）中部圏・近畿圏の内陸地震の震度分布等について，H18.12.7.
- 8) 大阪府：大阪府自然災害総合防災対策検討（地震被害想定）報告書，H19.3.
- 9) 大阪市・（財）地域地盤環境研究所：構造物耐震対策検討業務報告書-2 報告書，H20.3.
- 10) 多賀謙蔵，角 彰，近藤一雄：上町断層を想定

した設計用地震動についてのJSCAの取り組み，内陸地震に対して構造設計者はどう対応すればよいか？「地震荷重と構造設計」，pp.55-58，2009.10.

- 11) シンポジウム「大阪を襲う内陸地震に対して建物をどう耐震設計すれば良いか？」，日本建築学会近畿支部耐震構造研究部会 H20.3.10.
- 12) シンポジウム「上町断層帯による想定地震動に対する建物の耐震設計を考える」，日本建築学会近畿支部耐震構造研究部会，H21.1.8.
- 13) シンポジウム「内陸地震に対して構造設計者はどう対応すればよいか？「地震荷重と構造設計」」，日本建築学会近畿支部耐震構造研究部会，H21.10.23.
- 14) 鈴木恭平，川辺秀憲，山田真澄，林 康裕：断層近傍のバルス地震動特性を考慮した設計用応答スペクトル，日本建築学会構造系論文集，No.647，pp.49-56，2010.1.
- 15) 佐野剛志，勝俣英雄，三輪田吾郎，林 康裕，多幾山法子，佐藤浩太郎，小巻潤平：実大免震建物の擁壁への衝突実験，その1～5，日本建築学会大会梗概集，2010.9（掲載予定）.

（投稿受理：平成22年8月2日）