

## 上町断層地震に備えるためのこれからの耐震設計



研究ノート

多賀謙蔵\*

Seismic Design for Uemachi Fault Earthquake,  
which should be aimed at from now onKey Words : Uemachi Fault, Pulse-like Ground Motion, Aseismic Design Method,  
Performance Design, Limit State

## 1. はじめに

建築構造設計の目的は、社会または建築主が求める良質な建築物、すなわち優れた機能性・表現性・安全性・生産性などの諸性能を有する建築物を、意匠設計者・設備設計者と協働して作り出すことにある。諸性能の中でも安全性、特にわが国では地震対策を避けて通ることができない。1995年に兵庫県南部地震が発生し、大きな被害を目の当たりにして大地震に対する建物の機能維持・財産保全の重要性が改めてクローズアップされた。その後も2003年十勝沖地震、2004年新潟県中越地震、2007年中越沖地震等の被害地震に続き、今年の3月には東北地方太平洋沖地震という巨大地震が襲い、甚大な被害があったのは記憶に新しいところである。今後も関西地区では南海・東南海地震や、上町断層地震などに備える必要がある。

筆者は昨年未まで32年弱の間建築設計事務所に勤務し、多くの建物の構造設計に携わる傍ら、特にここ数年は上町断層地震にどう向き合うか、という課題に後述する研究会の一員として取り組んできた。本年から教育・研究の場に居所を移したところであるが、当面の主要テーマとしているこの問題について現状と今後の方向性について述べてみる。

## 2. 大阪市域に影響を及ぼす地震

日本で起こる地震は、内陸の浅い部分で発生する地震と、海洋プレートの沈み込みによって起こる地震に大別される<sup>1)</sup>。

大阪市は、地震による被害を予測するにあたって、大阪市域に影響を与えると考えられる上町断層系、生駒断層系、有馬高槻構造線、中央構造線等の内陸地震及び南海トラフの活動による地震を想定し、その中で大阪市域並びにその周辺に連続して存在していると考えられる上町断層系(仏念寺山断層、上町断層、長居断層、桜川撓曲及び住之江撓曲)の活動によるものがもっとも大きな影響を与える、としている<sup>2)</sup>。

なお、海溝型地震である南海トラフの活動による地震によって、長周期の地震動が発生して特に高層の建物が影響を受けることが指摘されているが、これについては国が長周期地震動に対する対策を講じようとしているところであり、ここでは内陸地震に絞って述べることとする。

## 3. 法令での耐震規定上の扱い

現在の建築基準法上の耐震規定は、1981年に大改訂されたいわゆる新耐震設計法と呼ばれるもので、「稀に発生する(数度は経験することが予想される)中地震レベルに対して、ほとんど損傷しないこと」、「極めて稀に発生する(安全上検討が必要な最大級の)大地震レベルに対して人命が守られること」の2段階のチェックを行うことになっている。法令ではこのレベルに相当する地震力の大きさを定めていて、振動応答解析が必要な高さ60mを超える超高層建物や、免震建物についても、同様のチェックをするための入力地震動の大きさ・作り方が定められている<sup>3)</sup>。(いわゆる告示波で、平成12年の法改正時に規定。それまでは過去の観測記録等を使っていた。)



\* Kenzo TAGA

1956年10月生  
大阪大学工学部建築工学科卒業(1979年)  
現在、神戸大学 大学院工学研究科 建築学専攻 教授 博士(工学) 建築構造工学  
TEL : 078-803-6040  
FAX : 078-803-6040  
E-mail : taga@tiger.kobe-u.ac.jp

告示波以外でも「個々の敷地の状況を考慮したサイト波」を用いてもよいとされているが、現状では個々の設計者がサイト波を作成して検討することは一般的ではない。これは、作成手法や仮定条件によって作られるサイト波に大きなバラツキが生じ、個々の設計者がその扱いを判断するにはあまりにも難しい問題である、というのが大きな理由であると考えている。一方、時刻歴応答解析を行った場合の安全性検証の指標(クライテリア)は、例えば大地震時の層間変形角は1/100以下、というように構造的評価機関の審査基準の形で定められている。

#### 4. 上町断層地震に対するこれまでの備え

平成7年の兵庫県南部地震は、発生頻度の低い内陸直下型地震動に対しても、その特性に応じた対策が必要であることを強く印象づけた。大阪市はその直後、平成9年に上町断層帯の地震動を対象とした市施設の公共建築物用の震災対策技術指針を先駆的に取りまとめ<sup>4), 5)</sup>、その成果は、告示波が定められた平成12年以降も、民間建築物においても「極めて稀に発生する地震」の設計用サイト地震動として、告示波に加える形で高層建築物等の設計に広く活用されてきた。なお、このときの設計用地震荷重のレベルの設定にあたっては、地表の地震動と建築物への入力地震動との関係が解明されていないこと、兵庫県南部地震の被害分析から、現行の耐震設計法が一定の評価を得ていること等を総合的に勘案し、建築基準法の規定に対して最大1.25倍程度の割り増しとし、今後の研究進捗にしたがって適宜見直すべきものとされている。この考え方に異論もあるが、筆者は3.で述べたサイト波の扱いという難問に対して、大阪府域共通のひとつの考え方が示されたという大きな意味があったと考えている。

#### 5. 上町断層地震に対するこれからの備え

その後10年を経る間に活断層調査や地震動観測記録が充実し、(独)産業技術総合研究所、内閣府中央防災会議等から活断層予測地震動が公表されるようになった。大阪府・市が近年の研究成果を取り入れて活断層地震動を予測し地震被害想定<sup>6)</sup>を行ったのもその一環である。地震調査推進本部によると上町断層帯地震の発生間隔平均は8000年と言われ、今後30年間の発生確率は2~3%で活断層では高

い部類に入っている<sup>1)</sup>。予測地震動は地震発生シナリオなどによりその強さに大きな幅があり、いまだ確定的に定められる状態ではないが、平成9年度の予測波や法で規定する建築設計用地震動を上回る予測地震動が含まれていて、これに対してどう向き合うかが見逃ごせない課題となってきた。このような状況下で2009年11月に(社)日本建築構造技術者協会関西支部を事務局として設計実務者を中心とする50数社が集まり、大阪府下において法規定を超える可能性のある内陸直下型地震動に対して、如何に設計するかを共通課題とした研究会(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)を立ち上げた。関西の大学研究者の指導・助言を得ながら研究を続け、約1年半の期間をかけて上町断層帯地震動に対する耐震設計指針が研究成果としてまとめられた<sup>7)</sup>。その概要を以下に示す。

なお、指針の適用範囲は大阪府域の新築および既存の建築物のうち、高層建築物や免震建築物等、時刻歴応答解析により耐震安全性を検討する必要がある建築物を対象としている。これは、現時点では、建築物の地震時挙動を時刻歴応答解析により予測し、その変形性能に照らして耐震性能を評価することを基本としていることによる。

##### 5.1. 設計用入力地震動

設計用入力地震動の策定にあたっては、近年の内陸直下型地震についての強震動予測や観測記録に関する研究成果をできるだけ反映させることとし、主として平成18年の「大阪府自然災害総合防災対策検討委員会」の成果<sup>8)</sup>として得られている予測波を活用している。これは、上町断層帯地震のほか、大阪府域に大きな影響を与えると考えられる複数の想定地震に対して地震被害想定を目的として500mメッシュ点について得られている予測地震動で、上町断層帯地震については、図-1に示すように全長58kmにわたる断層が一時に動くとし、断層破壊パターンの大きさ、位置、震源位置などの不確定要素に対して35ケースの地震発生シナリオを設定して作られたものである。

指針では、作成された予測波の幅のなかで次の3段階の設計用地震動レベルを設定している。いずれのレベルも法令で定める極めて稀に発生する地震動(告示波)を超えるレベルの地震動なので、構造設

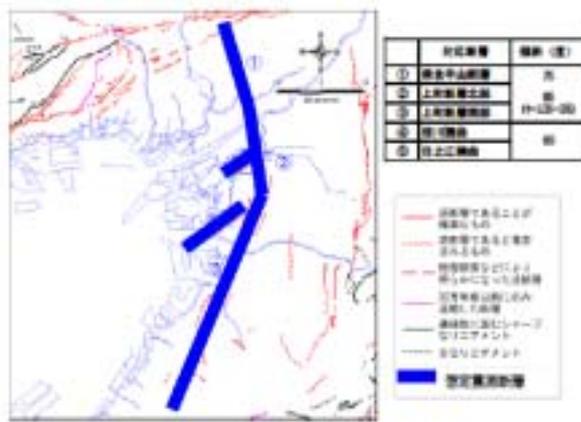


図-1 上町断層帯で想定された震源断層の位置<sup>7)</sup>

計者は建築主など関係者との協議のもと、いずれかのレベルを設定して設計を進めることになる。

レベル3 A：上町断層帯地震を考慮する際の基準となるレベルで、大阪府市予測波の発生シナリオ35ケースの平均的なレベルに相当する。

レベル3 B：基準のレベルより高い安全性を求めて設定するレベルで、より大きなばらつき範囲をカバーするレベル。大阪府市予測波の発生シナリオ35ケースの70%程度を含んだ地震動レベルに相当する。

レベル3 C：基準のレベルに比べ、特段の高い安全性を求めて設定するレベルで、さらに大きなばらつき範囲をカバーするレベル。大阪府市予測波の発生シナリオ35ケースの85%程度を含んだ地震動レベルに相当する。

なお、35ケースの発生シナリオは断層に沿った全域に大きな地震動が生じるように配慮して設定されているものであり、それぞれの発生確率は残念ながら不明である。従って、上記の70、85%の数字は発生確率に対応するものではなく、大阪府市予測波のばらつきに対応するものであることに注意する必要がある。

また、大阪市域を図-2に示すように6つのゾーンに区切って、地盤特性等に応じた設計用入力地震動をそれぞれ設定している。このゾーン区分は、大阪府市の構造物耐震対策検討において、主として土木構造物検討用に用いる「標準地震動」を設定する際に行われたゾーン区分にならったものである。(ちなみに平成9年の大阪市地震動は、大阪市域を東西2ゾーンに区分)

今回の指針で建築物設計用に設定された入力地震

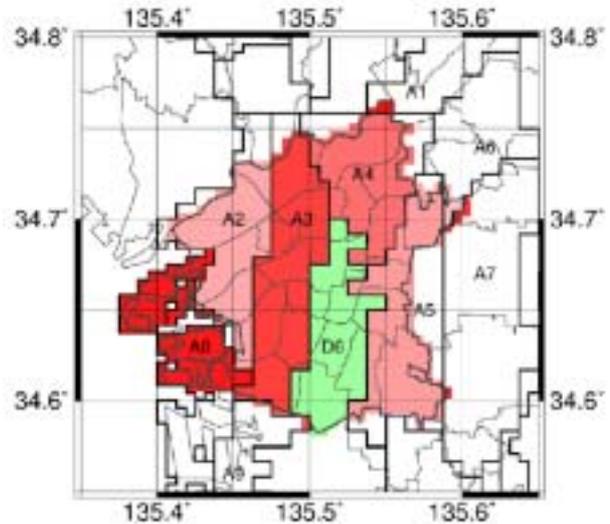


図-2 内陸直下型地震に適用する大阪市のゾーン分割<sup>7)</sup>

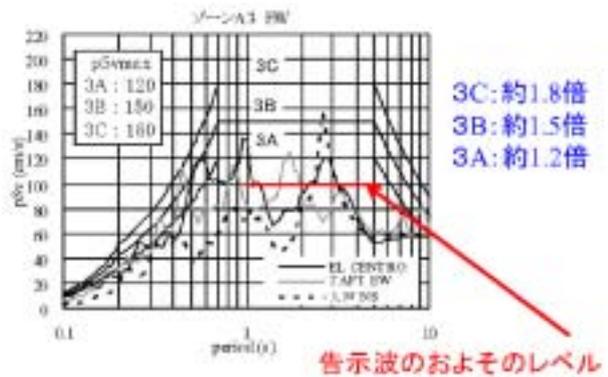


図-3 提案された設計用地震動の概略の大きさ(速度応答スペクトル)<sup>7)</sup>

動の大きさを極めて大づかみに表現すると、ゾーンにより多少の差はあるが、図-3に示すように大地震レベルの告示波と比べて3Aレベルはおよそ1.2倍前後、3Bレベルは1.5倍前後、3Cレベルは1.8倍前後、ということが出来る。

## 5.2. 目標とする耐震性能

指針で扱う内陸直下型地震は、今後30年以内の発生確率は2～3%と言われている一方で、多くのケースが考えられる断層破壊パターンに応じて予測地震動の大きさに大きな幅があり、個々の建設地において大きな影響を及ぼす地震の発生確率は、海洋型地震に比べて、かなり低い確率であると考えられる。従って、高層建築物等の一般的な耐震性能目標よりも、倒壊・崩壊に対して、より踏み込んだ状態に至ることを許容することとしている。

限界状態Ⅰ：下記の終局的な限界状態Ⅱに対してあ

る程度の余裕があり、非倒壊の保証を目標とする限界状態として設定する。「本震でこの状態におさまっていればある程度の余震にも耐えることができ、一定期間の使用が可能な状態(応急対策が必要な場合もある)」と位置づける。

限界状態II: 最新の研究レベルを踏まえて設定する建築物が倒壊しない限界の状態。この状態を確認するためには詳細な解析や、さらなる調査・研究を必要とする場合がある。

5.1. で示した3段階の設計用地震動レベルと、2段階の終局安全性に対する耐震クライテリアが設けられたことになる。図-4にこれら設計用地震動レベルと耐震クライテリアの関係を示すが、どの組み合わせを採用するかについて建築主と設計者が協議し、設定することになる。

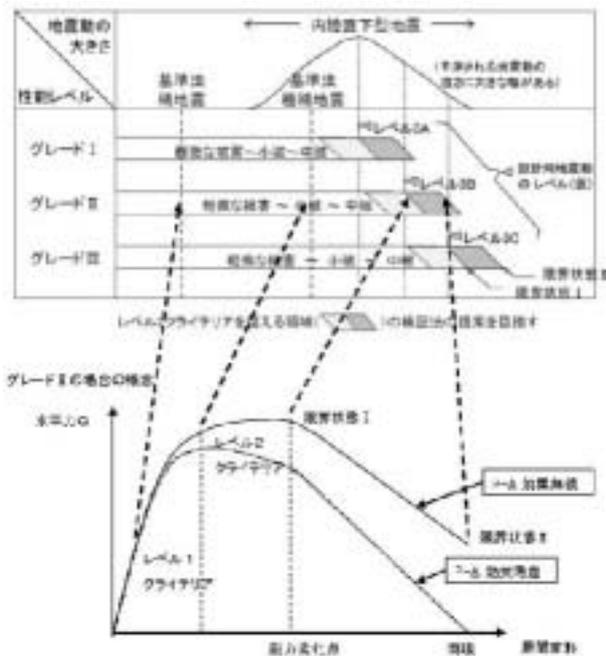


図-4 設計用地震動レベルと設計クライテリアの関係<sup>7)</sup>

いずれも法を超えるレベルの地震動を対象とするものであるため、その適用は、建築主と設計者の自主的な判断によるものとなるが、新築建物については、「3Bレベルに対して、限界状態I以下とする」ことを目指したい、としている。ケーススタディによると、この目標を達成するためには、これまでの設計と比べて、若干の補強が必要となる見込みである。

5.3. 今後の取り組み方向

5.1. で示したように、この予測地震動には、パル

ス周期が1秒程度以上で、かつ大きなパワーを有するものが含まれており、今後の設計において考慮すべき設計用地震動を入力すると、図-5に示すように現行法を満足する建築物の場合、約2倍の応答変位ならびに大きな損傷が生じ得ることが想定されている。また、パルス性の入力であるため付加減衰の効果はあまり期待できない<sup>8)</sup>。このような地震動に対しても損傷の低減を図るためには、大きな変形能力を付与する必要がある、例えば高強度鋼材を活用することにより弾性限変形を大きくすることは有効な方法のひとつである。

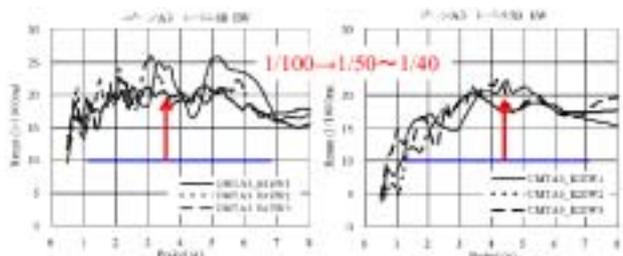


図-5 推奨レベルの設計用地震動による最大応答層間変形角の一例<sup>7)</sup>

高強度鋼材の建築構造材料としての実用化研究は、2002年度から開始された府省連携プロジェクトとして行われ、引張強度800N/mm<sup>2</sup>級のものが実用化されつつある<sup>9)</sup>。また、筆者らもそれとは別に2003年から引張強度950N/mm<sup>2</sup>級の超高強度鋼材を建築構造物に適用するための研究に関わり、図-6のような構造計画で実物件への適用も既に果たしている<sup>10)</sup>が、これらの高強度鋼材に共通する課題として、高強度鋼材同士の溶接接合は現状では難度が高く、普及にあたっての大きな障害のひとつとなっている。

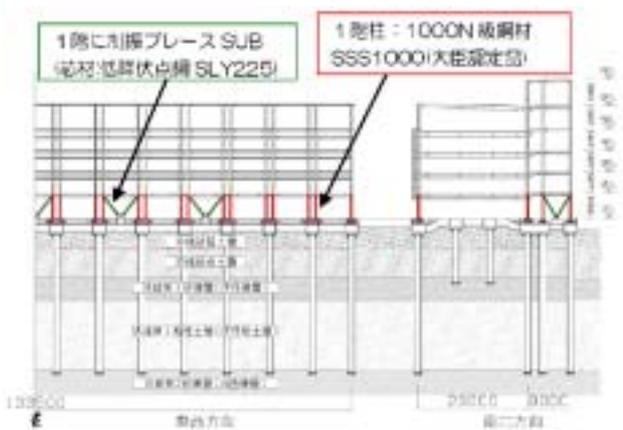


図-6 超高強度鋼材の活用事例<sup>10)</sup>

以上を背景として、上町断層地震に代表される、法律を超えるレベルの大きな地震動に対して、実用段階に入った超高強度鋼材を、その施工性・合理性を十分踏まえたうえで有効に活用する方法を構築することが今後目指すべき方向のひとつであると考え、新天地での最初のテーマとして取り組んでいるところである。

## 6. おわりに

今回、未曾有の東日本大震災を経験し、日本の国土が如何に自然の容赦ない振る舞いに晒されているかを痛感した。このような状況下で、大阪府域内陸直下型地震がどのような規模で襲ってくるかは、未だ全く確定的ではないなかで、民間の設計者らが自主的にその危険性に対峙し設計法を取りまとめ、指針として提示した。既設建物の対応も含め、合理的に対処していくためにはまだまだ課題も残されているが、この成果が活かされるよう、今後は教育・研究の場から支援していきたい。

## 参考文献

- 1) 例えば, 地震調査研究推進本部 HP :  
<http://www.jishin.go.jp>
- 2) 大阪市 HP : <http://www.city.osaka.lg.jp/kikikanrishitsu/>

- 3) 国土交通省監修: 2007年版建築物の構造関係技術基準解説書, 2007
- 4) 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, 1997.3.
- 5) 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, 1997.3.
- 6) 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, 平成19年3月
- 7) 例えば, 多賀謙蔵・亀井功・宮本裕司ほか: 上町断層帯地震に対する設計用地震動ならびに設計法に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.1-4, 2011年6月
- 8) 林康裕: パルス性地震動の特徴と耐震設計の方向, 日本建築学会大会パネルディスカッション「活断層を考慮した設計用地震荷重」資料, pp.41-54, 2011年
- 9) 中井政義ほか: 高強度鋼を用いた巨大地震に対する主架構務損傷設計法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第666号 pp.1443-1451, 2011年
- 10) 多賀謙蔵・多田元英ほか: 1000N級鋼(950N/mm<sup>2</sup>級鋼)の建築構造物への適用性について その16実構造物の設計例, 日本建築学会学術講演梗概集 構造III, pp.629-630, 2010年

