

# 兵庫県南部地震後の耐震基準の改訂

兵庫県南部地震は構造物の耐震性や社会の地震防災性のあり方についてさまざまな教訓を示した。それらの中で最も重要な教訓は「兵庫県南部地震の断層近傍域で発生したような強烈な地震動に対しても構造物が壊滅的な破壊を生ずることなく、人命と財産に重大な被害が発生しないように構造物の耐震性を向上させる」ことであったと考えられる。(社)土木学会は地震後、土木の各分

兵庫県南部地震後の耐震基準・指針の改訂

対象構造物・施設	指針・基準
道路橋	道路橋示方書・同解説書Ⅴ・耐震設計編 (1996(平成8)年12月)
鉄道施設	鉄道構造物等設計基準・同解説(耐震設計) (1999(平成11)年10月)
高圧ガス導管	高圧ガス導管耐震設計指針 (2000(平成12)年3月)  高圧ガス導管液状化耐震設計指針(案) (2001(平成13)年9月)
港湾施設	港湾の施設の技術上の基準・同解説 (1999(平成11)年4月)
河川堤防	建設省河川砂防技術基準(案)設計編,[I],[II] (1997(平成9)年9月)
水道施設	水道施設耐震工法指針・解説 (1997(平成9)年3月)
下水道施設	下水道施設の耐震対策指針と解説 (1997(平成9)年8月)



濱田政則

HAMADA Masanori  
フェロー会員  
早稲田大学教授 理工学部

野の実務者、研究者よりなる「耐震基準等基本問題検討会議」を組織し、今後の土木構造物の耐震性のあり方や耐震性向上のための技術開発の方向性等についての検討を行った。その結果、土木構造物の耐震性を向上させるための基本方針として、i) 2段階の地震動に対する耐震設計、およびii) 性能規定型耐震設計法、の2点を提唱した。2段階設計法は、従来の耐震設計で考慮してきた

設計地震動（レベル1地震動）に加え、発生頻度は低いが、神戸で発生したような強地震動も考慮して構造物の耐震性を照査しようとするものである。性能規定型設計は、設計で想定する地震動に構造物が遭遇した場合に地震中および地震後に構造物が保有すべき性能（機能）をあらかじめ定め、この性能を満足するように構造物の損傷度程度や残留変形量を許容される範囲に収めるように

	改訂の概要		
	耐震設計で考慮する地震動・地震外力	耐震性能	耐震設計手法等
	従来からの耐震設計で用いられてきた震度を踏襲した、「震度法に用いる設計水平震度」および「地震時保有水平耐力法に用いる水平震度の2段階を考慮する」。後者についてはプレート境界地震による地震（タイプI）と兵庫県南部地震で発生したような断層近傍域の地震動（タイプII）を考慮する。	重要度の特に高い橋は、供用期間中に発生する確率が高い地震動に対しては健全性を損なうことなく、確率は低いが大きな強度をもつ地震動に対しては致命的な被害を防止する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・液状化の判定方法の見直し（強地震動に対する締固った砂の強度、細粒分と礫分の影響などを考慮する）</li> <li>・側方流動に対する基礎の設計法・免震構造などの設計法を導入</li> </ul>
	2段階の地震動を考慮する。 L1地震動：構造物の設計耐用期間中に数回程度発生する確率を有する地震動 L2地震動：構造物の設計耐用期間中に発生する確率は低いが大変強い地震動	L1地震動に対しては耐震性能Iを、L2地震動に対しては、重要度の高い構造物は耐震性能IIを、その他の構造物は耐震性能IIIを満足するものとする。 耐震性能I：地震後も補修せずに機能を保持でき、かつ過大な変位を生じさせない。 耐震性能II：地震後の補修を必要とするが、早期に機能を回復できる。 耐震性能III：地震によって構造物全体が崩壊しない。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塑性領域における大変形を考慮した設計法（コンクリート構造、鋼構造および基礎）</li> <li>・側方流動に対する基礎の設計法</li> <li>・強地震動に対する土圧の算定法など</li> </ul>
	2段階の地震動を考慮する。 レベル1地震動：供用期間中に1～2回発生する確率を有する一般的な地震動 レベル2地震動：供用期間中に1～2回発生する確率は低いが大変強い地震動で内陸型地震と海溝型地震による地震動	レベル1地震動に対して、被害が無く修理することなく運転に支障がない。 レベル2地震動に対して、導管に変形は生じることが漏洩は生じない。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地震波動による地盤変位に対して直管および異形管の許容ひずみを3%とする</li> <li>・地盤の側方流動による曲管の変形に関し最大で30%までのひずみに相当する変形を許容する。</li> <li>・側方流動による地盤変位量の評価方法</li> </ul>
	2段階地震動を考慮する。 レベル1地震動：施設の供用期間中に発生する確率が高い地震動 レベル2地震動：施設の供用期間中に発生する確率が低いが大変強い強度をもつ地震動、プレート内地震とプレート境界地震の2種類	レベル1地震動に対し所要の構造の安定性を確保し、かつ、当該施設の健全な機能を損なわない。 レベル2地震動に対し耐震強化施設は、生じる被害が軽微であり、かつ、地震後の速やかな機能の回復が可能なものとし、当該施設の機能を保持する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・液状化の判定法の見直し</li> </ul>
	改訂前は一般に地震に対する安全性は考慮されていなかったが、改訂によって設計水平震度0.2に相当する地震動を考慮することとなった。	地震により堤防が損傷を受けても堤内地への浸水による2次災害をおこなさい。	高規格堤防に関する規定を追加。
	2段階の地震動を考慮する。 レベル1地震動：施設の供用期間中に1～2度発生する確率を有する地震動 レベル2地震動：発生確率は低いが大変強い地震動	施設の重要度に応じてランク分け（A、B）を行い、レベル1、レベル2地震動のそれぞれに対して耐震性能を規定。例えばランクA施設はレベル2地震動に対して「人命に重大な影響を与えないこと」を規定している。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・液状化の判定法に関する規定を改訂</li> <li>・兵庫県南部地震および新潟地震における実測値をもとにした設計用地盤ひずみと地盤変位を規定</li> <li>・側方流動に対する基礎の設計法</li> </ul>
	2段階の地震動を考慮する。 レベル1地震動：施設の供用期間中に1～2度発生する確率を有する地震動 レベル2地震動：直下型地震等のように供用期間中に発生する確率は低いが大変強い強度をもつ地震動	施設の重要度に応じてレベル1、レベル2地震動のそれぞれについて耐震性能を規定。例えば「レベル2地震動に対して重要な幹線は流下機能を維持する」ことを規定している。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・応答変位法を用いたレベル2地震動に対する耐震設計では、地震外力として兵庫県南部地震等をもとにした速度応答スペクトルと地盤のひずみを用いることを設定</li> <li>・液状化の判定法に関する規定を改訂。</li> </ul>

するものである。個々の構造物の性能を規定するのにとどまらず、構造物や施設が構成するシステム、例えば水道や電力などのライフラインシステムでは地震後の供給能力などを設定し、これをもとにシステムの構成要素である施設や構造物の必要機能が決定される。構造物の耐震性向上に関しては、土木学会の提言と同様な考え方が1995（平成7）年7月に改訂された「防災基本計画」で採用された。「2段階設計法」と「性能規定型設計法」が構造物の耐震設計に関する国の基本方針となったと考えることができる。

さらに兵庫県南部地震後、多くの土木構造物の耐震設計基準が、土木学会の提言や防災基本計画に示された基本方針に沿って改訂された。表に示すように、改訂された設計基準のほとんどにおいて2段階の設計用地震動が採用され、構造物の重要度と地震動レベルに応じた耐震性能が規定された。

兵庫県南部地震は埋立地を中心に液状化を引き起こし、側方流動によって建物や橋梁の基礎に深刻な被害が生じた。このため、改訂された基準において液状化地盤の側方流動に対する基礎構造や埋設構造物の設計方法が規定されることになった。以上のように兵庫県南部地震後、多くの土木構造物の基準の見直しが行われたが、土木学会の提言や防災基本計画の考え方を具体化するには以下のような課題があった。

まず、レベル2地震動をどのように設定するかという問題である。これについては二つの考え方が提案された。一つは“既往最大”という考え方である。今までに観測された地震動の上限値をもって今後の耐震設計のための地震動としようとする考え方であり、新しく改訂された道路橋示方書において地表面の設計震度を最大で0.8としているのはこの考え方がベースになっていると思われる。これに対して、設計地震動を確率論的に定めようとする考え方が提案され、鉄道施設や水道施設の耐震基準で採用された。“既往最大”の考え方では、それを超える地震動が観測される度に、地震動の改訂の必要性が議

論されることになる。また、確率論的な決定法では、再現期間が著しく長い地震動に関しては確率を論ずるに足るだけのデータの蓄積が不十分であり、現時点では両者の考え方に優劣をつけることは難しい。

性能規定型設計において、構造物が保有している機能は、構造基礎を含めた構造物各部位の損傷度や残留変形の程度によって判断されることになる。このためには構造物の塑性領域における大変形挙動から破壊に至るまでの過程を定量的に評価することが要求される。コンクリート橋梁などの一部の構造物を除けば、従来から地震後の残留変形が生じない設計、すなわち弾性領域での設計が行われていた。このため、鋼構造物、コンクリート構造物の塑性領域での挙動や破壊のメカニズムに関する知見と情報の集積は十分でない。

性能規定型設計は護岸、擁壁、堤防などの土構造物などにも適用されることになる。これらの構造物の設計は、一般に地震力や自重による外力に対しすべりや転倒などに対する抵抗力が一定の割合で上回っていることを確認することで行われてきた。レベル2地震動を耐震設計で考慮すると、多くの場合外力が抵抗力を上回ることになる。構造物にすべり、沈下、水平変動などの残留変形や損傷が生ずる。これらの残留変形や損傷をもとに構造物の性能が満足されているか否かが判断される。しかしながら現時点においては盛土や擁壁のような土構造物の残留変形量などを精度良く推定する手法は確立されていない。

兵庫県南部地震後、上記の課題に関してきわめて精力的な調査・研究が行われたが、未解決の課題も数多く残されている。耐震設計基準の改訂は実務からの要請もあってこれらの課題を抱えながら見切り発車的に行われたことも否定できない。上述した課題については現在多くの研究者や研究機関によって研究が推進されている。これらの研究成果を待って、将来再び耐震基準を改訂する時期がくると考えている。