

J R 東日本 正会員 ○桑原 清
 正会員 相澤 文也
 正会員 小西 康人

1 はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震における、地下鉄駅舎をはじめとする地下構造物の被災は、世界的に見ても前例のないものであった。

従来、地下構造物は比較的地震に強いとされ、耐震設計を行っていないものも多い。J R 東日本においても地下構造物の耐震設計法について、地上構造物ほどには明確に基準化されておらず、比較的大規模な地下駅においては、設計時に地震時の検討を行っているものの、中規模地震を想定し、許容応力度レベルの応答変位法による設計が一般的である。今回、兵庫県南部地震を踏まえ、大規模地下駅をはじめとする地下構造物の大規模地震に対する検討について一定の整理を行った。以下に、今回整理した地下構造物の耐震設計の考え方の概要を述べる。

2 耐震設計法の概要

(1) 耐震設計の目標

設計方針の策定においては、どのような“外力”に対して、“構造物の限界状態”をどのように設定するかが重要である。今回我々は、“兵庫県南部地震クラスの地震力”に対して、“構造物が崩壊しない”ことを耐震設計の目標とした。したがって、地震力としては兵庫県南部地震の際にポートアイランドのGL-83mで観測された地震記録のNS成分(図-1)を入力地震動とした。

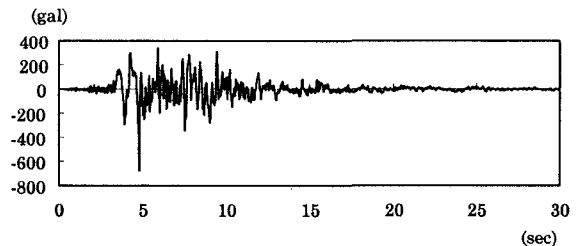


図-1 入力地震動

(2) 解析モデル

周囲を地盤に囲まれた地中構造物は、一般にみかけの単位体積重量が地盤より小さく、地上の構造物のように慣性力により地震時の挙動が支配されずに周囲の地盤の挙動に支配されるものと考えられる。このことから構造解析は地盤変位を考慮した応答変位法によることとした。地盤変位の算定に用いる地盤の応答変位の特性値は、先述の地震記録から得られた速度応答スペクトルから求めることとし、設計作業の簡便化のため、図-2に示すようにこの曲線を2直線で近似して使用することとした。ただし、大規模地下駅の場合、多層で複雑な地層構成となることもあり、その場合は地盤の地震応答解析によることとした。

解析は、図-3に示すように地盤ばねに支持された構造物に地震荷重として、地盤変位に伴う地震時土圧・周面せん断力および慣性力を作用させることとした。

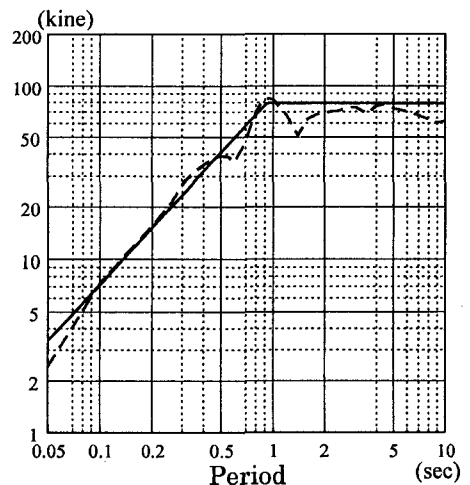


図-2 速度応答スペクトル

(3) 非線形性の考慮

今回対象としているような大規模地震では、構造物の応力レベルは降伏応力を越える場合が多いことから、合理的な解析をおこなうためには地盤および構造物の非線形性を考慮する必要がある。このことは、兵庫県南部地震の被災状況を検証した各種報告でも明らかにされている¹⁾。特に、今回のようにある特定の地震動に対して応答計算するのであれば地盤および構造物の非線形挙動および地盤と構造物の動的相互作用を完全に考慮した時間領域における完全非線形動的解析が理想である。

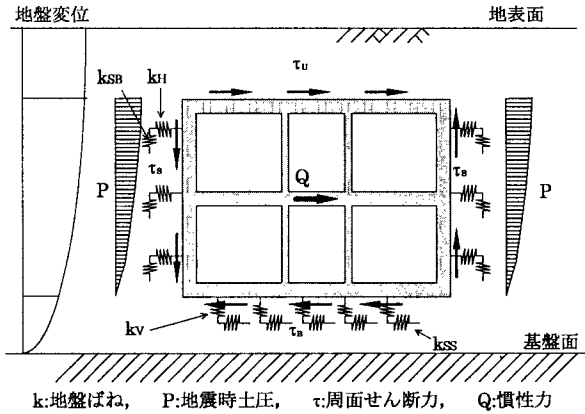


図-3 解析モデルと地震荷重

ただし、現状では地盤の非線形性や動的相互作用を正確に評価するのは困難であり、表-1のレベル4の解析方法によるのが実務上現実的であることから等価線形化等により非線形性を考慮して解析してよいこととした。

表-1 地盤と構造物の非線形性の考慮レベル²⁾

レベル	地盤の非線形性の考慮	構造物の非線形性の考慮	備考
1	完全非線形性の構成則	ひび割れを直接考慮	理想、現状一般には困難
2	完全非線形性の構成則	フーム解析 非線形の剛性	現状一般には困難
3	等価線形(ひずみ依存)	フーム解析 線形 局部剛性低下	解析可能、設定困難
4	等価線形(ひずみ依存)	フーム解析 線形 一様剛性低下	現状では実務的
5	等価線形(ひずみ依存)	弾性 剛性低下無視	大規模地震では非現実的

構造物の非線形性については、文献 2)を参考に地盤に接する最外縁の部材について剛性低下を考慮することとした。図-4は、ある荷重レベルにおいて、部材の全断面有効と考えた剛性で線形解析をおこなった場合の発生断面力(Md)と部材の降伏耐力(My)との比(Md/My)を示したものである。この試算例では、側壁が降伏またはそれに近い状態であることがわかり、地盤に接する部材の剛性を低下することの妥当性が伺える。今回、剛性低下率については安全側をみて RC の降伏剛性に相当する 50%を考慮したが、非線形解析による試算を重ね検証を進めていきたいと考えている。

3 おわりに

これらの考え方を整理し、JR東日本版「耐震設計の手引」としてまとめた。現在、進行中のいくつかのプロジェクトの設計および既設地下駅の安全性評価をこの手引によって進めている。

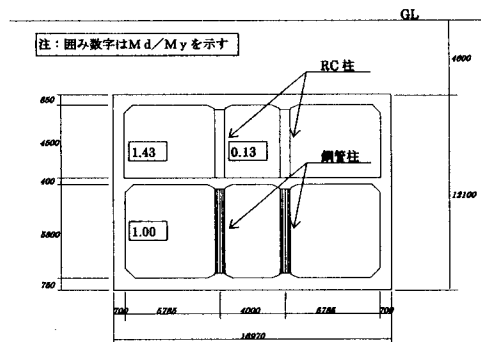


図-4 Md/Myの試算例

<参考文献>

- 1) 例えば、佐保・長光・山本・森：非線形応答変位法による地下鉄駅舎の被災メカニズムの考察、「阪神・淡路大震災に関する学術講演会」講演集，1996.01
- 2) 土木学会原子力土木委員会：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル，1992.09
- 3) 建設省土木研究所：大規模地下構造物の耐震設計法・ガイドライン(案)，土木研究所資料第3119号，1992.03