

不整形地盤による地震動の増幅が構造物へ及ぼす影響

ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) ○田 住 哲 志
ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 湯 間 謙 次

論文要旨

地表面や耐震設計上の基盤面が大きく変化しているような不整形地盤では、波動が複雑に伝播することなどから、局所的に地震動が増幅されたり、継続時間が長くなることが、過去の地震被害の分析等で指摘されている。そのため、不整形地盤上に位置する構造物に対しては、通常よりも大きな地震作用を見込む必要がある。

本論文では、不整形地盤の影響を簡便に考慮するための補正係数 η に着目し、その周期特性について、解析的な検討を行った。その結果、補正係数 η の周期特性を考慮することで、より合理的な地表面設計地震動が設定できることが確認できた。

キーワード：不整形地盤、地震動、増幅、固有周期、フーリエ変換

1.はじめに

橋りょう構造物の設計において、地質調査の結果、図-1に示されるような耐震設計上の基盤面が傾いた不整形地盤が確認された。

このような地盤では、鉛直方向の実体波と不整形地盤から伝わる水平方向の表面波が重なり地震動が増幅するため、設計で使用する地震動を補正する必要がある。

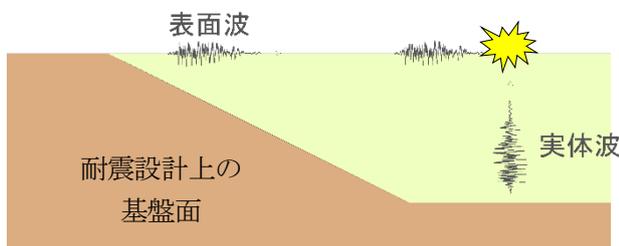


図-1 不整形地盤における地震動の伝播イメージ

鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計¹⁾(以下、耐震標準)では、地震動の補正を簡便に行うために、補正係数 $\eta(\omega, x)$ を導出する方法が示されている。

導出方法には、周期特性の考慮の有無があり、実務上は考慮しない場合が多い。しかし、確認された不整形地盤は表層地盤の固有周期が短く、地震動を補正する周期帯が短周期に留まる可能性があり、周期特性を考慮すれば合理的な地表面設計地震動が設定できると考えた。

2. 周期特性を考慮した不整形地盤影響の検討

不整形地盤の影響の検討フローを図-2に示す。

補正係数 $\eta(\omega, x)$ でフーリエスペクトルを補正することで不整形地盤の影響を検討する。

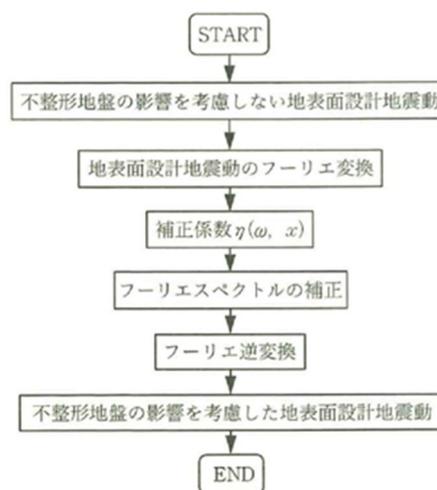


図-2 不整形地盤の影響検討フロー図¹⁾

補正係数 $\eta(\omega, x)$ の計算式を下記に示す。

$$\eta(\omega, x) = 1 + \alpha(x) \cdot \beta \cdot e^{-i \cdot \Delta t \cdot \omega}$$

$$\omega_g = \frac{2\pi}{(T_g/\alpha_g)}$$

$\alpha(x)$: 水平方向伝播波の振幅補正係数

β : 低振動数に対する補正係数

$\omega \leq \omega_g$: $\beta = \omega / \omega_g$

$\omega > \omega_g$: $\beta = 1.0$

ω : 円振動数(rad/sec)

ω_g : 表層地盤の卓越円振動数(rad/sec)

T_g : 表層地盤の固有周期(s)

α_g : 地震時のひずみレベルによる地盤の剛性低減係数で、L1地震時0.70、L2地震時0.50

Δt : 建設地点 x (m)までの水平方向伝播波の遅れ時間

x : 不整形地盤端部から建設地点までの距離

図-3 に不整形地盤の検討モデルを示す。図-4 に周期特性を考慮した補正係数 $\eta(\omega, x)$ を示す。

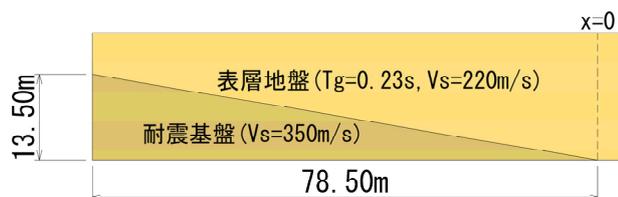


図-3 不整形地盤の検討モデル

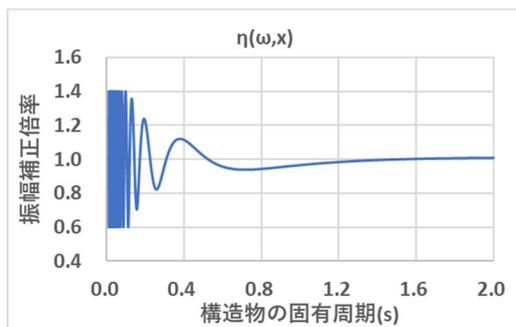


図-4 補正係数 $\eta(\omega, x)$

補正係数 $\eta(\omega, x)$ について、最大値が 1.4 倍となった。簡便な計算では最大値を参照するため、1.4 倍となる条件であるが、周期特性を確認すると、増幅が発生する範囲は固有周期約 0.5 秒までであり、それ以降は補正倍率が 1.0 に収束した。

これは図-5 に示すように低振動数に対する補正係数 β の計算において、 $\omega \leq \omega_g$ の条件下では、 β が 1.0 を下回り、0 に収束する事が影響している。

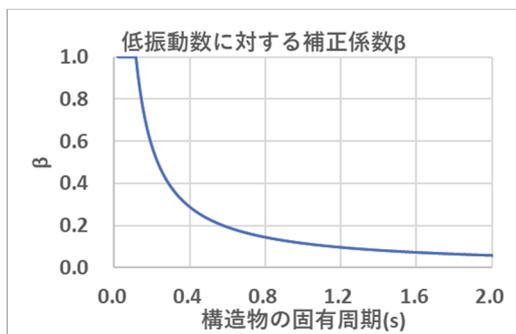


図-5 低振動数に対する補正係数 β

補正係数算出後、地表面設計地震動に不整形地盤の影響を考慮した地震動を作成し、補正前の地震動の応答スペクトルと比較した。応答スペクトルを図-6、その倍率を図-7 に示す。

図-6、図-7 より応答スペクトルの倍率が図-4 に示した補正係数 $\eta(\omega, x)$ による増幅が発生する周期帯と概ね一致した。これらの結果より固有周期 $T(s)$ が 0.5 秒を下回る場合は、不整形地盤の影響を受けることが分かった。

なお、鉄道橋りょう構造物の固有周期は、一般的に 0.5s より大きな値を示す。そのため、この建設地点では鉄道橋りょう構造物への不整形地盤影響は小さいと評価できた。

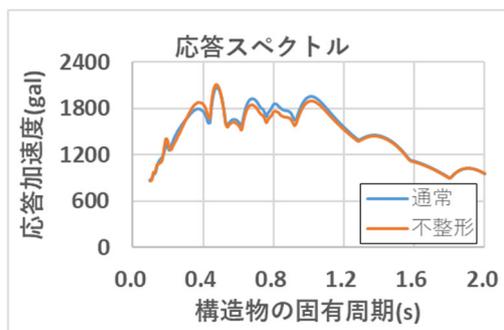


図-6 応答スペクトル比較

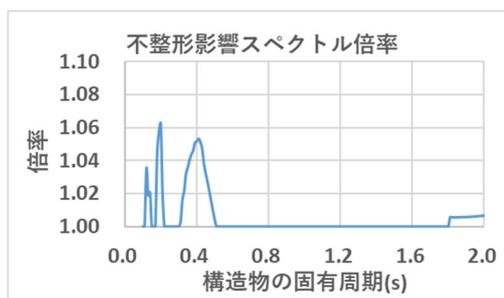


図-7 応答スペクトル倍率

3. おわりに

本論文では、不整形地盤における地震動の増幅を考慮する補正係数 $\eta(\omega, x)$ に着目し、フーリエ変換を用いて、その周期特性を確認した。その結果、橋りょう構造物の固有周期帯から外れた範囲での増幅に留まることが分かり、ある建設地点において地震動の補正 1.4 倍が見込まれたところ、実際には影響が小さいことが分かった。

なお、地盤条件によっては不整形地盤影響を考慮した設計が必要である。本検討の対象地点は表層地盤の固有周期が短い条件であり、これが長周期化すると橋りょう構造物の周期帯まで補正が必要な傾向にある。

その場合、設計で使用している各種地震動データを補正して用いる必要があるが、補正した所要降伏震度スペクトルを用意するために多数の動的解析を実施すると非常に手間がかかる。これについては坂井らにより提案されている手法²⁾があり、現実的な作業量で補正した所要降伏震度スペクトルを作成することが可能である。

参考文献

- 1) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計、2012
- 2) 石川太郎、坂井公俊、室野剛隆、西恭彦、曾我大介、青柳広樹：ランダム振動論に基づく不整形性箇所 の所要降伏震度スペクトルの補正、鉄道工学シンポジウム論文集、第 23 号、pp.171-178、2019