

一連の地震活動における周期特性を考慮した2方向地震動の方向性分析

群馬工業高等専門学校 学生会員 ○都築 直仁, 齋藤 溪太
群馬工業高等専門学校 正会員 井上 和真

1. はじめに

従来の構造物や地盤の耐震設計において, 水平方向については1方向入力地震動による地震応答解析が採用されているが, これは平面的な地震動の方向性については考慮されていない. 近年, 解析環境の発達により3次元地震応答解析による構造物の耐震設計が行なわれつつあるが, 水平2方向入力地震動の設定については言及されていない. また, 災害レベルの大きな地震動には, 最も規模が大きい本震以外にも前震や余震が発生する. 耐震設計では, 余震等を含む一連の地震動が構造物の耐震性能に与える影響を考慮していない. そのため, 余震等によって本震で発生した被害が深刻になり, 構造物に甚大な被害をもたらす可能性がある.

本研究は, 構造物や地盤の水平2方向入力による耐震性能評価における水平2方向地震動の設定および一連の地震活動が構造物の耐震性能に与える影響を評価するために, 一連の地震動が有する周期特性を考慮した2方向地震動の方向性について分析したものである.

2. 研究手法

2.1 全方位応答スペクトル

井上らは2方向地震動の周期特性を考慮した地震動に対する方向性の指標として, 全方位応答スペクトル¹⁾を提案している. 全方位応答スペクトルでは, 固有周期 T を半径, 方位角 θ を平面極座標で表現し, 最大応答値はカラーマップで大きさを表現する. 例として, 減衰比 h を0.05とした2016年熊本地震のKiK-net 益城における本震(2016/4/16, マグニチュード(以下M)7.3)と2011年東北地方太平洋沖地震のK-NET 築館における本震(2011/3/11, M9.0)の全方位応答スペクトルを図-1に示す.

2.2 2方向地震動の変動評価

分析対象地震動に対して固有周期別の方位角の変動を評価するために, 以下の手順で変動評価の図を作成する.

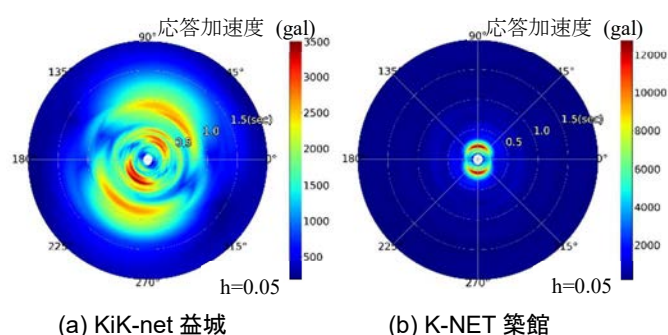


図-1 全方位応答スペクトル(本震)

- ① 各地震動で全方位応答スペクトルを作成する.
- ② 各固有周期で最大応答加速度を抽出する. 本研究では, 固有周期を0.5sec, 1.0sec, 1.5secに注目した.
- ③ 最大応答加速度が発生した方位角 θ を記録する. 第3象限とその付近に最大応答加速度が発生した場合, $\theta-180^\circ$ を行い全体の角度が約 180° になるよう調整.
- ④ 半径を一定とし, 記録した方位角を用いて直行座標に変換したうえで, グラフ上にプロットする.
- ⑤ ①~④の手順を対象観測点での各地震動で行う.

以上の手順で図を作成後, 以下の式から固有周期別の方位角の平均 $\bar{\varphi}$, 標準偏差 φ_s と加重平均 $\bar{\varphi}_w$ を算出し, 方向性の変動を評価する.

$$\varphi_s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\varphi_i - \bar{\varphi})^2} \quad \bar{\varphi}_w = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad \bar{\varphi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi_i$$

ここに, φ は方位角($^\circ$), α は最大応答加速度(gal)である.

3. 分析対象地震動

熊本地震や東北地方太平洋沖地震では, 一連の地震動において前震や余震が多く発生した. 熊本地震で発生した一連の地震動のうち, 防災科学技術研究所 web ページの『強震観測網(K-NET, KiK-net)』²⁾に公開されているKiK-net 益城で観測された地震動を対象に, M5.0以上かつ2方向応答スペクトルの最大値が250gal以上のものを分析対象とした. 同様に, 東北地方太平洋沖地震では, K-NET 築館を対象に, M6.3以上かつ2方向応答スペクトルの最大値が200gal以上のものを分析対象

キーワード 2方向地震動, 全方位応答スペクトル, 2方向応答スペクトル, 方向性

連絡先 〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町 580 群馬工業高等専門学校 TEL : 027-254-9180 E-mail : inoue@cvt.gunma-ct.ac.jp

とした。KiK-net 益城と K-NET 築館の地盤種別は道路橋示方書ではそれぞれⅡ種地盤とⅠ種地盤と判定され、レベル1地震動の標準加速度応答スペクトルの最大値はそれぞれ250galと200galである³⁾。レベル1地震動に対して構造物は弾性範囲内になるように設計されており、レベル1地震動より大きな地震動では構造物が損傷する可能性がある。一連の地震動により特定の方位角に卓越した加速度が繰返し作用することで、構造物に甚大な被害を与えると考えられることから、本研究の分析の対象にした。

4. 2方向地震動の変動評価の結果

分析対象地震動の変動評価の結果を表-1、表-2に示す。また、固有周期0.5secのときの各統計量を図化したものを図-3、図-4にそれぞれ示す。加重平均と平均の差は、固有周期が大きくなるほど小さくなっている。つまり、最大応答加速度が大きい地震動は固有周期が小さいほど平均角度からずれていることが分かる。特に、K-NET 築館について上記の特徴が強く現れていることが確認できる。両タイプの地震動の卓越した方位角の平均から、一連の地震動では第1、第3象限に卓越した地震動が発生していることが確認できる。しかし、 2σ 、 3σ の結果より、特定の方位角に卓越した地震動は、あらゆる方向で発生する可能性があるかと推察する。

5. まとめ

本研究では、代表観測点で観測された一連の地震動の全方位応答スペクトルを作成し、各地震動で卓越した方向を抽出することで、一連の地震動の方向性について分析した。その結果、両タイプの地震動で短周期側のほうが長周期側と比べて最大応答加速度の差が大きいことが分かった。また、タイプ別の一連の地震動で卓越した方位角の規則性がおおむね確認できた。しかし、統計的には、両タイプの地震動で全方向で地震動が発生する可能性が高い。よって、一連の地震動の卓越した方位角には規則性があるものの、将来発生する地震動の卓越した方位角を予測することは難しいと推察する。つまり、水平2方向入力による耐震設計において従来の1方向入力では考慮できない方向に卓越した地震動が発生する可能性がある。以上のことから、水平2方向入力を考慮した構造物の耐震設計を行うことの重要性を確認することができた。

表-1 変動評価の結果 (KiK-net 益城)

固有周期 (sec)	平均 (°)	標準偏差 σ (°)	2σ (°)	3σ (°)	加重平均 (°)
0.5	72.0	41.6	83.2	124.8	80.1
1.0	45.3	31.4	62.7	94.1	52.4
1.5	36.2	35.3	70.7	106.0	39.7

表-2 変動評価の結果 (K-NET 築館)

固有周期 (sec)	平均 (°)	標準偏差 σ (°)	2σ (°)	3σ (°)	加重平均 (°)
0.5	49.9	27.8	55.7	83.5	71.5
1.0	60.3	35.9	71.7	107.6	73.6
1.5	7.6	37.5	75.0	112.5	0.3

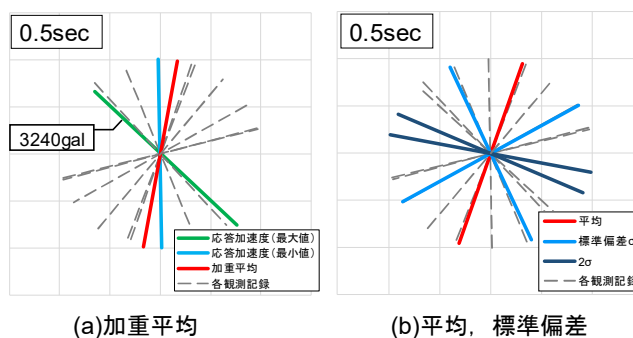


図-3 方位角の統計量 (KiK-net 益城)

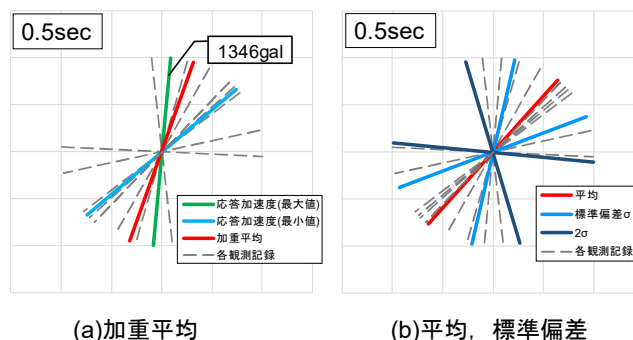


図-4 方位角の統計量 (K-NET 築館)

謝辞

本研究は JSPS 科研費 20K14816 の助成を受けて研究を遂行しました。また、防災科学研究所が公開している地震動の強震観測網(K-NET, KiK-net)のデータを使用させていただきました。

参考文献

- 1) 井上・齋藤ら：強震動の観測記録に基づく周期特性を考慮した2方向地震動の方向性分析，土木学会論文集 A1，第76巻，第4号，pp.I_205-I_213，2019。
- 2) 防災科学技術研究所 web ページ『強震観測網 K-NET, KiK-net』：<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/> (2020年10月6日閲覧)
- 3) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説 第1刷，丸善出版，pp49，2017。