地震動のサイト増幅特性の経験的評価におけるバラツキに関する基礎的検討

(株)エイト日本技術開発 災害リスク研究センター　正会員　○福島　康宏
神戸大学 都市安全研究センター　正会員　長尾　毅

１．はじめに

構造物の設計入力地震動の設定の際には震源特性，伝播経路特性，サイト特性を考慮する必要がある．このうち，深層地盤による増幅特性(サイト増幅特性)は地点により大きく異なることが知られている．強震記録に基づいたサイト増幅特性の評価には，スペクトルインバージョンによる方法(例えば野津・長尾)と，対象地点とその周辺での同時記録から評価する方法とがあるが，いずれも複数の記録による平均的な増幅特性が議論の対象となり，そのバラツキについてはほとんど考慮されていない．設計で想定する以上の地震動の作用に対しても危機耐性として今後は配慮が求められることから，増幅特性のバラツキを評価することは重要である．

そこで，本検討では，サイト増幅特性のバラツキに関する基礎的な検討として，K-NET 米子(TTR008)強震観測点を対象として，周辺強震観測点と同時記録を用いて評価されるサイト増幅特性のバラツキを算定した．

２．周辺強震観測点との同時記録を用いたサイト増幅特性の評価

サイト増幅特性が既知の地点 A を基準点，同じ地震が観測されている地点 B を対象地点とする．両地点での地震動の観測記録のフーリエ振幅スペクトル $O_A(f)$, $O_A(f)$は，震源特性 $S(f)$, 伝播経路特性 $P_A(f)$, $P_B(f)$, サイト増幅特性 $G_A(f)$, $G_B(f)$の積として次式で表現できる．

$$O_A(f)= S(f)\cdot P_A(f)\cdot G_A(f) \tag{1}$$

$$O_B(f)= S(f)\cdot P_B(f)\cdot G_B(f) \tag{2}$$

ここで，伝播経路特性 $P_A(f)$, $P_B(f)$は

$$P_A(f)=\exp\{-(\pi f r_A)/(Q(f)V_S)\}/r_A \tag{3}$$

$$P_B(f)=\exp\{-(\pi f r_B)/(Q(f)V_S)\}/r_B \tag{4}$$

で表される．ここで，r_A, r_Bはそれぞれ地点 A, B までの震源距離，$Q(f)$は伝播経路の減衰を表す Q 値，V_s は S 波速度である．これより，地点 B のサイト増幅特性 $G_B(f)$は次式で表される．

$$G_B(f)=\frac{O_B(f)}{O_A(f)}\cdot\frac{r_B}{r_A}\cdot\frac{\exp\{-(\pi f r_A)/(Q(f)Vs)\}}{\exp\{-(\pi f r_B)/(Q(f)Vs)\}} \tag{5}$$

３．K-NET 米子(TTR008)での算定例

(1) 検討対象記録

TTR008 で強震観測が開始された 1996 年 6 月以降の強震記録から，次の条件に当てはまる記録を抽出した．

・マグニチュードが 4.0 以上 6.0 未満の地震

・震央距離が 150km 未満の記録

上記の条件で抽出した地震のうち S/N 比の低い記録を除き，**表 1** に示す地震の強震記録を対象とした．

また，伝播経路における Q 値は，野津・長尾のスペクトルインバージョンで用いられている佐藤・巽の西日本海溝型地震の次式を用いた．

$$Q(f)=152f^{0.38} \tag{6}$$

(2) サイト増幅特性算定結果

TTR008 の隣接観測点(TTR008 から約 15km)である K-NET 広瀬(SMN015)および KiK-net 美保関(SMNH10), TTR008 から約 60km 離れた K-NET 東城(HRS002)を基準点として同時記録に基づき算定した TTR008 のサイト増幅特性を**図 1** に示す．図中には，各地震の平均を赤色の実線，平均±標準偏差を赤色の破線で示している．

キーワード　サイト増幅特性，バラツキ

連絡先　〒164-8601 東京都中野区本町 5-33-11　(株)エイト日本技術開発 災害リスク研究センター　TEL 03-5341-5146

また，野津・長尾による TTR008 のサイト増幅特性を緑色の実線で示している．

周波数ごとに対数標準偏差の値は異なるが，0.5～10Hz の間の平均は，対象地点に近い SMN015，SMNH10 を基準点とした場合それぞれ 0.26，0.25 となり，宮城県の仙台～塩竈を対象とした平井・長尾による検討と同程度となったが, 対象地点から離れた HRS002 を基準点とした場合は 0.29 と大きなバラツキとなり, SMN015, SMNH10 を基準点とした場合と比べて大きな増幅率となっている．震源と基準点，対象地点の位置関係によっては，基準点と対象地点とでディレクティビティ効果の影響が異なること，震源距離や Q 値では表現できない伝播経路特性の相違などが要因として考えられる．

4．おわりに

本検討では，K-NET 米子(TTR008)強震観測点を対象として，周辺強震観測点との同時記録を用いたサイト増幅特性を評価する際のバラツキを算定した結果，対象地点に近い観測点を基準点とすると対数標準偏差で 0.25 程度となったが，対象地点から遠い観測点を基準点とすると大きなバラツキとなった．同様の方法でサイト増幅特性を評価する際の基準点の選定による影響については，今後詳細な検討が必要である．

参考文献

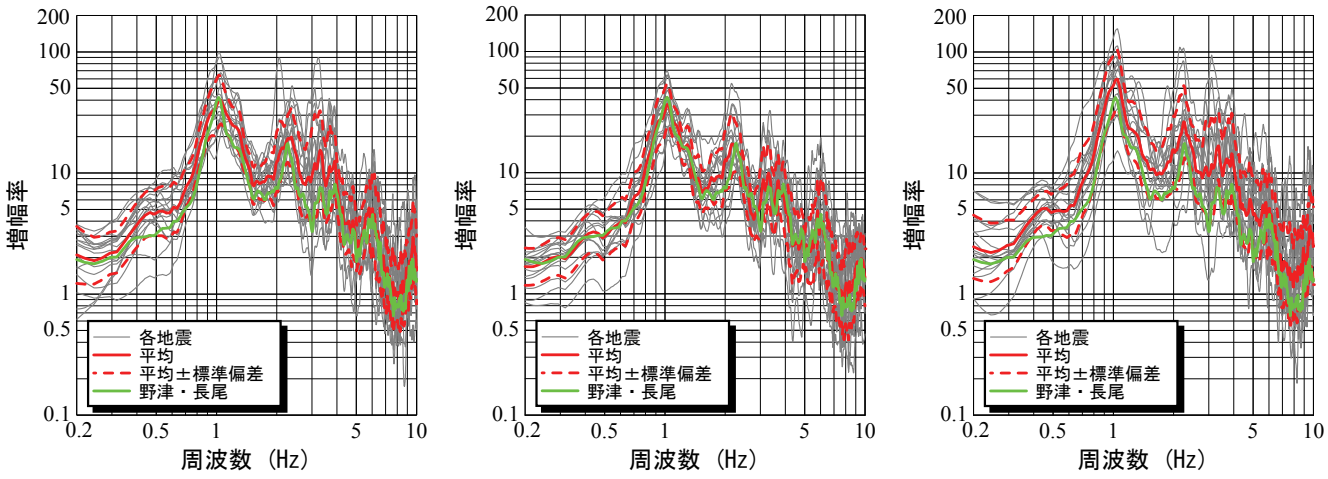
・野津厚，長尾毅：港湾空港技術研究所資料，No.1112，2005.

・佐藤智美・巽誉樹：日本建築学会構造系論文集，第 556 号，pp.15-24，2002.

・平井俊之・長尾毅：土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.68，No.2，I_468-I_473，2012.

表 1　検討対象記録(TTR008)

発震時間	経度(°)	緯度(°)	深さ(km)	マグニチュード M_J	震源域	TTR008 震源距離(km)	SMN015 記録有無	SMN015 震源距離(km)	SMNH10 記録有無	SMNH1 震源距離(km)	HRS002 記録有無	HRS002 震源距離(km)
1997/09/04 05:12	133.3765	35.2563	12.3	4.5	鳥取県西部	22.8	○	25.4	×	－	○	42.9
1997/09/04 05:15	133.3767	35.2620	8.9	5.5	鳥取県西部	20.7	○	23.7	×	－	○	42.7
2000/07/17 08:00	133.4212	35.3722	16.3	4.4	鳥取県西部	19.2	○	28.0	○	28.5	○	56.9
2000/10/06 14:52	133.3090	35.3613	7.7	4.5	鳥取県西部	10.7	○	14.8	○	23.1	○	52.4
2000/10/06 16:21	133.3247	35.3242	6.2	4.1	鳥取県西部	12.9	○	16.0	○	26.7	×	－
2000/10/07 06:38	133.2962	35.3598	8.4	4.4	鳥取県西部	11.6	×	－	○	23.5	×	－
2000/10/07 12:03	133.3112	35.3767	8.8	4.3	鳥取県西部	10.5	×	－	○	22.0	○	54.2
2000/10/08 13:17	133.1502	35.1393	6.8	5.6	鳥取県西部	36.4	×	－	○	48.9	○	30.2
2000/10/08 20:51	133.3107	35.3688	8.3	5.2	鳥取県西部	10.6	○	15.2	○	22.6	○	53.3
2000/10/08 20:59	133.3042	35.3670	7.7	4.2	鳥取県西部	10.3	○	14.4	○	22.5	×	－
2000/10/10 21:58	133.3072	35.3723	9.9	4.4	鳥取県西部	11.7	○	15.9	○	22.9	○	53.9
2000/11/03 16:33	133.2935	35.3580	9.0	4.6	鳥取県西部	12.2	○	14.4	○	23.9	○	52.2
2000/12/07 23:09	133.2878	35.3710	11.3	4.3	鳥取県西部	13.4	○	15.6	○	23.6	○	54.0
2000/12/19 06:18	133.2988	35.3895	10.2	4.2	鳥取県西部	11.3	○	15.7	○	21.3	○	55.8
2002/01/24 16:08	133.3215	35.3647	9.2	4.8	鳥取県西部	11.4	○	16.5	○	23.4	×	－
2002/09/16 10:10	133.7393	35.3700	9.6	5.5	鳥取県西部	38.9	○	52.6	○	46.0	○	68.2
2007/05/13 08:13	132.7922	35.0098	9.5	4.6	島根広島県境	68.0	○	53.1	×	－	○	46.9
2011/06/04 01:57	132.6705	35.0958	10.5	5.2	島根広島県境	71.1	○	55.4	○	77.6	○	60.5
2011/11/21 19:16	132.8937	34.8717	11.7	5.4	島根広島県境	74.1	○	61.3	×	－	○	36.9
2016/10/21 14:53	133.8667	35.3600	9.0	5.0	鳥取県中部	50.1	○	63.9	○	56.6	○	75.1



(1) SMN015 を基準点とする場合　(2) SMNH10 を基準点とする場合　(3) HRS002 を基準点とする場合

図 1　周辺強震観測点との同時記録を用いた TTR008 のサイト増幅特性算定結果