

因果律に基づく振幅と位相の相関を考慮した地震波形の合成法に関する基礎的研究

東北大学大学院 学生会員 ○松崎 裕

東北大学大学院 正会員 秋山充良

東北大学大学院 フェロー会員 鈴木基行

1. はじめに

耐震設計において動的照査法の適用範囲が広がり、またレベル2地震動照査時には対象構造物の弾塑性挙動を評価するため、振幅特性とともに適切な位相特性を規定した入力地震動が必要とされている。兵庫県南部地震などの低頻度巨大地震による地震動の観測が少ない現状では、設計地震動として模擬地震動を用いることは一つの有効な選択である。

一方、地震動は地震波が対象地点に到達するという原因に対する結果として生じ、因果律が成立する現象であり、この因果律を地震波形の合成に適用すると、振幅と位相の相関を規定する方程式が導かれる。従来の模擬地震動作成法は、振幅と位相を独立にモデル化する場合が多く、これらは因果律の観点から本質的な矛盾を抱えていることが指摘される。本研究では、振幅と位相の相関を考慮したより合理的な模擬地震動の作成に向けて、因果律を適用して合成される波形の性質や振幅と位相の関係に関する基礎的検討を行った。

2. 位相からの波形合成

本田・澤田¹⁾は、離散時系列信号に因果律を適用し、振幅と位相の関係を規定する方程式を導いた。そして、その方程式を用いて観測波形の位相から波形を合成し、観測波形に完全に一致することを確認した上で、位相に不確定性を考慮した場合には高振動数成分が卓越した波形になる傾向を指摘している。ここでは、その原因を検討するため、どのような位相特性により高振動数成分が卓越した波形となるのかを解析し、因果律に基づく位相からの模擬地震動作成への可能性を検討した。

兵庫県南部地震の際に神戸海洋気象台で観測された N-S 成分波（以下、JMA 波）、その 1 次のフーリエ位相 θ_1 をわずかに 1% 変化させた場合の合成波形 A、及び高振動数側における全体の 7 割以上のフーリエ位相を全て 0 にした場合の合成波形 B を

図-1 に示す。図-1 のように、 θ_1 をわずかに 1% 変化させただけで高振動数成分が卓越し、波形が大きく変化しているのに対して、卓越振動数帯よりも高振動数側の位相を大きく変化させても波形の性状は観測波形とほとんど変わらないことを確認できる。

以上の傾向は卓越振動数帯の異なる他の観測波形に対しても成立し、卓越振動数帯よりも低振動数側の位相がわずかでも変化すると高振動数成分が卓越すること、卓越振動数帯よりも高振動数側の位相を大きく変化させても全体の振幅特性はほとんど変化しないことを確認した。このことは、卓越振動数帯よりも低振動数側の位相特性は全体の振幅特性を大きく変え得る重要な特性であり、異なる振動数間の位相はわずかな変化も許さない相関を有して分布していることを意味している。位相に不確定性を考慮した場合には、この相関が崩れることによって、各時刻における加速度値の細かな変動に対応できる高振動数成分が卓越した波形になると考える。このように、因果律に基づいて位相から波形を合成することは困難であり、以降では、こ

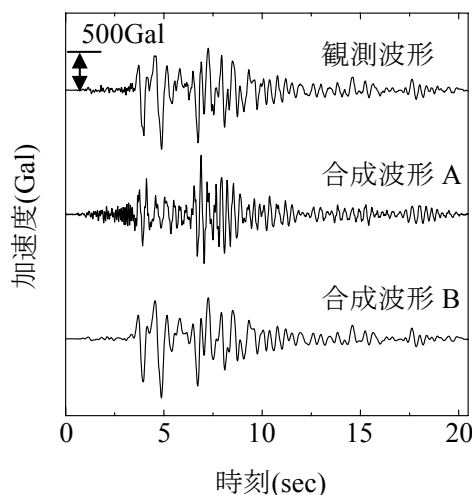


図-1 位相から合成された波形の比較

Key Words : 因果律, 振幅と位相の相関, 地震波形, 模擬地震動, 弾塑性応答のばらつき

連絡先 : 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06 TEL : 022(217)7449 FAX : 022(217)7448

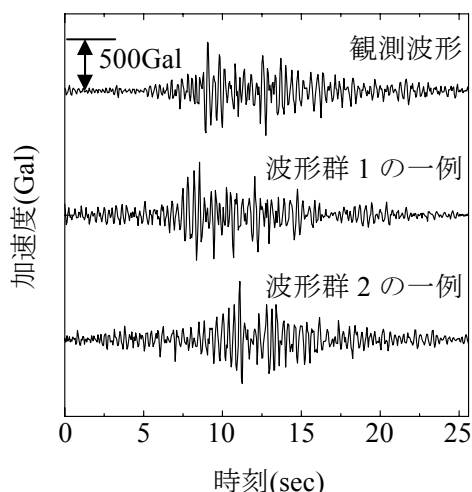


図-2 振幅から合成された波形の比較

の位相特性を振幅特性によって決定する振幅からの波形合成法について検討する。

3. 振幅からの波形合成

本田・澤田が提案した方程式を振幅から位相を決定する非線形連立方程式と見なし、Newton-Raphson 法により位相の解を求めて波形を合成した。ただし、振幅からは位相が唯一には決まらないため、同一の振幅特性を有するものの位相特性が異なる複数の合成波形により実地震動の再現性を確認した。

実地震動の再現性を確かめるために用いた観測波形は、JMA 波及び 1993 年の釧路沖地震の際に広尾町役場で観測された N-W 成分波(以下、HRO 波)であり、それぞれについて振幅特性は観測波形のものを与えた上で、異なる 2 通りの群遅延時間特性を与えた合成波形を各 10 波作成した。HRO 波と HRO 波の振幅特性を用いた合成波形の一例を図-2 に示す。観測波形に近い包絡形で主要動部の重心位置が異なる合成波形となっている。これは、2 つの波形群に与えた群遅延時間特性の違いである。

このような合成波形を用いて RC 橋脚の弾塑性地震応答解析を行った。上部工重量を変化させることで固有周期の異なる橋脚を用意し、応答塑性率が 3~5 程度となるように波形の加速度値に定数を乗じている。また、橋脚の履歴復元力特性には、Takeda モデルを用いた。結果の一覧を表-1 に示す。なお、表-1 には、従来手法による波形群を用いた動的解析結果も示している。この波形群は、正規分布でモデル化された同一の群遅延時間特性を有する位相を用いて合成された地震動である。

表-1 に示すように、振幅と位相の相関を考慮した場合であっても、異なる群遅延時間特性によって弾塑性応答には明確な違いが認められる。また、本手法による波形群から得られる最大応答値の変動係数は多くの場合で従来手法から得られるそれよりも低減されていることが確認される。このことは、振幅と位相の相関を考慮することで波形が選別され、振幅と位相を独立に与える場合よりも弾塑性応答のばらつきを低減できる可能性があることを示している。

4. まとめ

地震波形の合成に因果律を適用し、位相から波形を合成する場合には、卓越振動数帯よりも低振動数側の位相間の相関が崩れることで高振動数成分が卓越することを確認した。また、振幅から波形を合成することにより、振幅と位相の相関を考慮した場合であっても、群遅延時間特性の違いによって弾塑性応答は大きく変わり得ること、両者の相関を考慮することで波形が選別され、振幅と位相を独立に与える場合に比べて弾塑性応答のばらつきを低減できる可能性があること、を確認した。

参考文献

- 1) 本田利器, 澤田純男: 因果性を有する地震波の位相と振幅の関係について, 第 26 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.173-176, 2001.

表-1 動的解析による最大応答値の比(合成波形／観測波形)の比較

固有周期(sec)	波形群 1 ^{*1)}		波形群 2 ^{*2)}		従来手法	
	平均値	変動係数(%)	平均値	変動係数(%)	平均値	変動係数(%)
0.3	1.27	12.1	1.33	9.0	1.27	13.2
0.4	0.85	17.0	0.60	17.9	0.73	25.3
0.5	1.21	8.8	0.70	17.8	0.91	30.6
0.6	1.07	10.3	0.69	22.4	0.92	28.9
0.7	2.54	13.4	1.64	25.5	1.89	13.5
0.8	0.98	11.0	0.61	20.9	0.74	24.7

*1) 波形群 1: 卓越振動数帯における群遅延時間の平均値が 8 秒前後

*2) 波形群 2: 卓越振動数帯における群遅延時間の平均値が 11 秒前後