

鯖江盆地の微動アレイ観測

安井 譲^{*1}, 野口竜也^{*2}, 小嶋啓介^{*3}, 香川敬生^{*2}
白崎貴也^{*4}, 橋本勇一^{*5}, 中谷英史^{*2}, 堀川晋彦^{*1}

Microtremor array survey on soil velocity structure of Sabae Basin

Yuzuru Yasui, Tatsuya Noguchi, Keisuke Kojima, Takao Kagawa,
Takaya Shirasaki, Yuichi Hashimoto, Eiji Nakaya and Shin-ichi Horikawa

In order to clarify a ground structure of the section where Sabae Fault was crossed, a microtremor array observation was done at five points in the traverse line in east and west in Sabae Basin. A ground model consisted of four soil layers where the S wave velocities were given was considered, and the thickness of each layer was presumed by inverse analysis of the dispersion curve through genetic algorithm. As a result, the point where the seismic bedrock was the deepest was on the west edge, and the depth was about 1,400m. And, a steep slope was guessed in the seismic bedrock in the underground at the vicinity of Sabae Fault. On the other hand, it was suggested that the presumed ground structure of the east side of the fault should be reexamined.

Keywords: Sabae Basin, Sabae Fault, microtremor array observation, SPAC, dispersion curve, genetic algorithm, soil velocity structure, gravity survey, H/V spectrum

1. はじめに

鯖江盆地は、日野川水系が形成した東西約 10km、南北約 13km、標高 10～50m の鯖武盆地の北半部をなす盆地である。この鯖武盆地の中央を北流する日野川の東側に鯖江台地があり、その東縁には鯖江断層が、西側には鯖江台地西縁断層が推定されている。これまで鯖江断層のトレンチ調査¹⁾や地盤構造の推定^{2),3)}が行われているが、地震基盤を含む深部地盤構造については十分に解明されているとは言い難い。このたび深部地盤構造検討の一助とすべく鯖江台地の南端を走る東西の測線において微動大アレイ観測を行ったのでその結果を報告する。

2. 測定地点

測定地点は、図-1 に示すように、鯖江台地の南端を走る東西の測線上の東陽中学校 (TY)、中

*1 土木環境工学科 *2 鳥取大学大学院工学研究科 *3 福井大学工学部建築建設工学科 *4 土木環境工
学科学生 (現 ㈱ムラタ) *5 大学院工学研究科修士課程建設工学専攻院生 (現 第一電機工業㈱)

河小学校（NK）、東公園（HG）、南グラウンド（MN）および豊小学校（YT）の5つである。これらの地点では微動小アレイ観測が行われており²⁾新第三紀層以浅の地盤構造が推定されている。本研究ではこの成果を参照しながら深部地盤構造の推定を試みる。

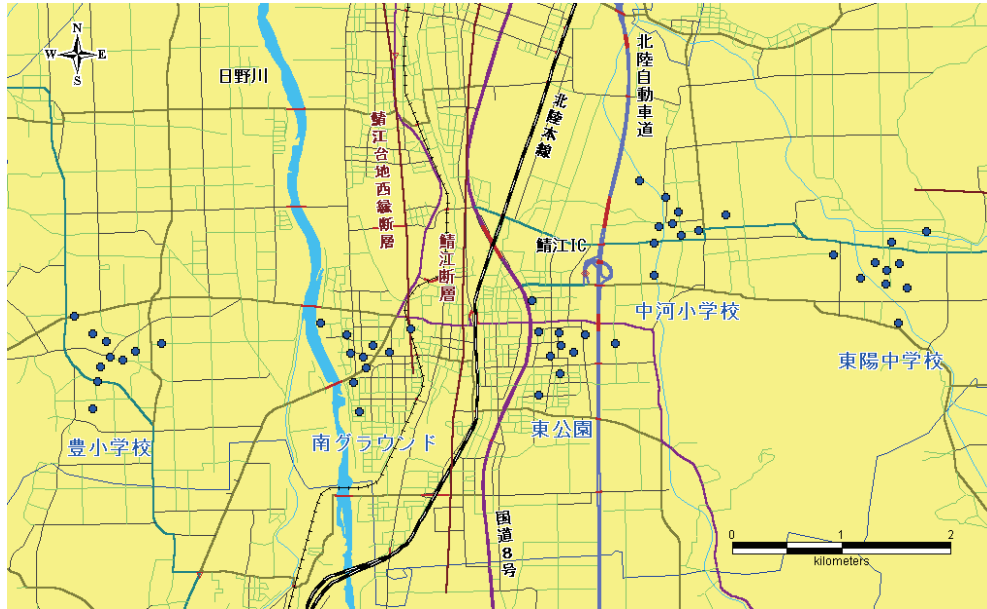


図-1 測定地点と測点

3. 観測の概要

観測の事前準備として、まず5地点延べ50測点を地図に落とす作業を行った。観測用の測点地図は刊広社の住宅明細図⁴⁾をもとに作成することとし、障害物のない観測可能な場所を地図上で探索して観測ポイントを決めた。続いて、これら観測点の下見を行い、決定したポイントをペンキでマーキングした。観測点の下見は平成22年10月12日（火）、14日（木）および15日（金）に行った。

微動大アレイ観測はSPAC法⁵⁾の適用を前提として、携帯型の地震計GPL-6A3P（ミットヨ製）を、半径125m、250mおよび500mの正三角形の中心と3つ頂点の延べ10測点に配置した。なお、地震計の数は7台で2つのケースに分けて測定した。図-1には各地点の10個の測点位置を示してある。また、その他の観測条件は以下のとおりである。即ち、測定時間：40分、サンプリング周波数：100Hz、フィルターの折点周波数：50Hz、倍率：1000倍、等々である。なお、測定は平成22年10月23日（土）と24日（日）の昼間に行った。

4. データ解析の概要と分散曲線

各測点の上下成分の観測波形について外乱が少ない40.96秒の区間を20個前後選択してSPAC法⁵⁾の解析に用いた。図-2に得られた分散曲線を示したが、分散曲線には正の分散性が明瞭にあらわれなかった。そこで、観測波形データに3Hzのローパス・フィルターを施して上記と同様な

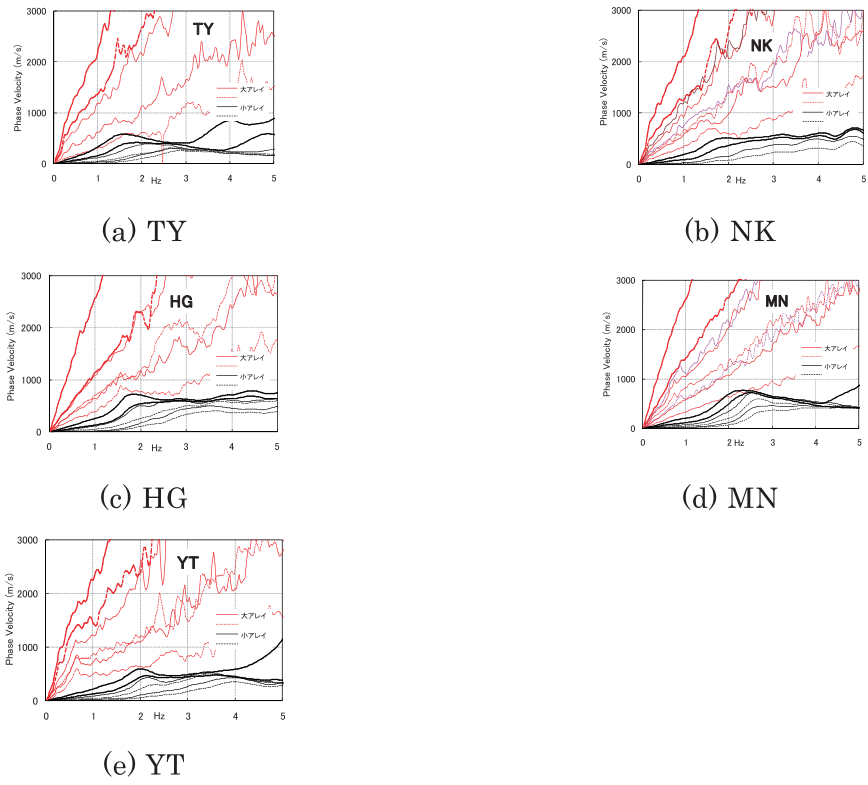


図-2 分散曲線 (原波)

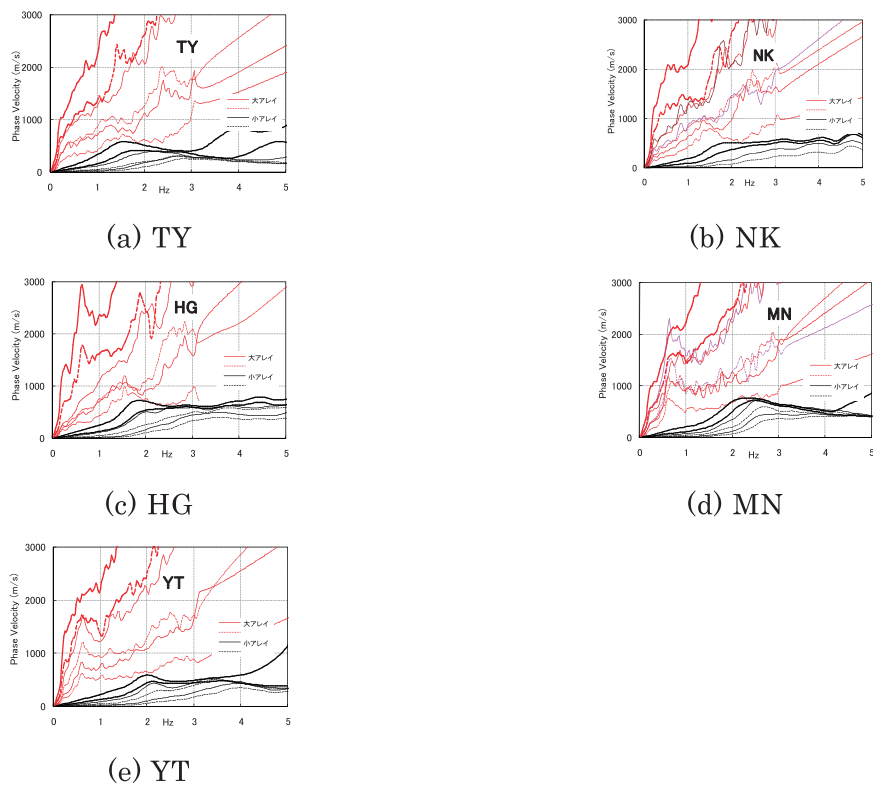


図-3 分散曲線 (フィルター波)

解析を行った。その際、原波形で選択した解析区間をフィルター波形で再検して不都合なものは間引いた。なお、このフィルターは、観測波形全体をフーリエ変換し、3Hz以上の振幅をゼロにして逆フーリエ変換する方法による。図-3に、フィルター波を用いて得られた全5地点の分散曲線を示したが、全地点において2Hz以下の低振動数域に正の分散性が認められる。ここに、同図の「小アレイ」は小嶋²⁾によるものである。なお、後述する逆解析の目標とする分散曲線は各半径で得られたものを目視で編集して連続した1本としたものを用いた。

5. 分散曲線の逆解析

遺伝的アルゴリズム (GA)^{6),7)}を用いて分散曲線の逆解析を行った。その際、5地点の地盤構造を相互に比較・概観することを考えて、地盤構造を単純化した。即ち、既往の研究を参考にして沖積層と洪積層のS波速度を170m/sおよび560m/sとし²⁾、新第三紀層と地震基盤のS波速度を1,800m/sおよび3,200m/sと設定して⁸⁾、沖積層厚 H_1 、洪積層厚 H_2 および新第三紀層厚 H_3 を未知数とすることとした。なお、HG地点の H_1 は諸検討の末、7.6mの確定値を与えた。P波速度 V_p は(1)式により V_s を用いて定める⁹⁾ものとし、密度 ρ は同じく V_s を用いて(2)式をもとに定める¹⁰⁾こととした。

$$V_p = 1,290 + 1.11 \times V_s \quad (1)$$

$$\rho = 1.4 + 0.67 \sqrt{V_s / 1,000} \quad (2)$$

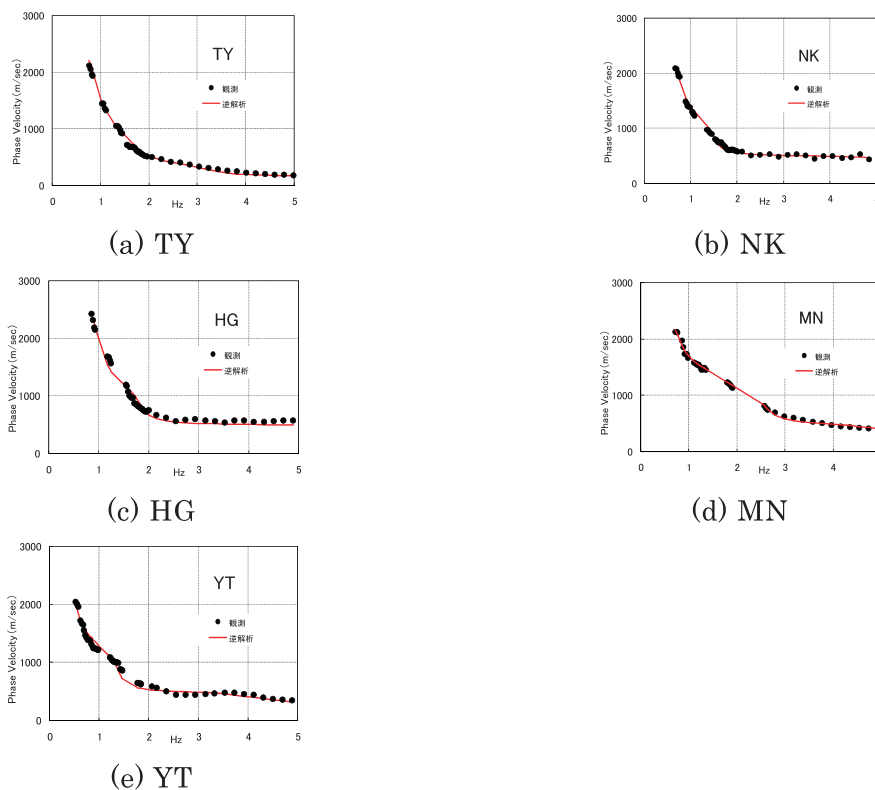


図-4 分散曲線の逆解析

表-1 推定地盤構造

(a) TY					(b) NK				
NO	Hi (m)	Depth (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	NO	Hi (m)	Depth (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)
1	25	25	1.7	170	1	11	11	1.7	170
2	117	142	1.9	560	2	173	184	1.9	560
3	569	711	2.3	1,800	3	673	857	2.3	1,800
4	-	-	2.6	3,200	4	-	-	2.6	3,200

(c) HG					(d) MN				
NO	Hi (m)	Depth (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	NO	Hi (m)	Depth (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)
1	8	8	1.7	170	1	13	13	1.7	170
2	142	150	1.9	560	2	96	109	1.9	560
3	73	223	2.3	1,800	3	831	940	2.3	1,800
4	-	-	2.6	3,200	4	-	-	2.6	3,200

(e) YT				
NO	Hi (m)	Depth (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)
1	16	16	1.7	170
2	181	197	1.9	560
3	1,180	1,377	2.3	1,800
4	-	-	2.6	3,200

GAによる逆解析では、 H_1 、 H_2 および H_3 の探索範囲を、それぞれ5~100m、10~500mおよび10~2,000mと広く設定し、世代数は100、試行回数は10とした。また、個体数を40、ビット数を6、交叉確率を0.7、突然変異確率を0.01とし、グレイコード、動的突然変異およびエリート選択を考慮した。

図-4に、分散曲線の逆解析結果を示したが良好に近似出来ていると言える。また、表-1に逆算推定した地盤構造の諸元を示す。同表から、洪積層の深さは8~25m、新第三紀層の深さは約110~200mと得られている。また、地震基盤深さに着目すると、最深地点はYTで約1,400mであるのに対して、MN地点では約940m、HG地点では約220m、TYとNK地点では約700mおよび860mと、それぞれ得られている。

6. 考察

図-5に、全5地点の3成分常時微動観測によるH/Vスペクトルと、逆算した地盤構造を用いて計算したレイリー波のH/V基本モード比スペクトル¹¹⁾を比較して示した。両者のピーク振動数はほぼ一致しており、逆算した地盤構造の妥当性が窺われる。ここに、観測値は三角形アレイの中心の測点のもので雑音のない20.48秒の区間を20個程度選択して計算したものである。図-6に、微動アレイモデルと別に実施した2次元3層モデルの重力解析結果とを比較して示した。ここに、重力解析では1層目、2層目および3層目の密度を、それぞれ1.80g/cm³、2.10g/cm³および2.50g/cm³と仮定している。同図から、2つのモデルはその形状が大局的に一致しており、両モデルとも鯖江断層と鯖江台地西縁断層に対応するMN~HG間で地震基盤に段差がみられる。一方、断層の東側では両モデルに差がみられる。今後その原因について検討する必要がある。

鯖江盆地の微動アレイ観測

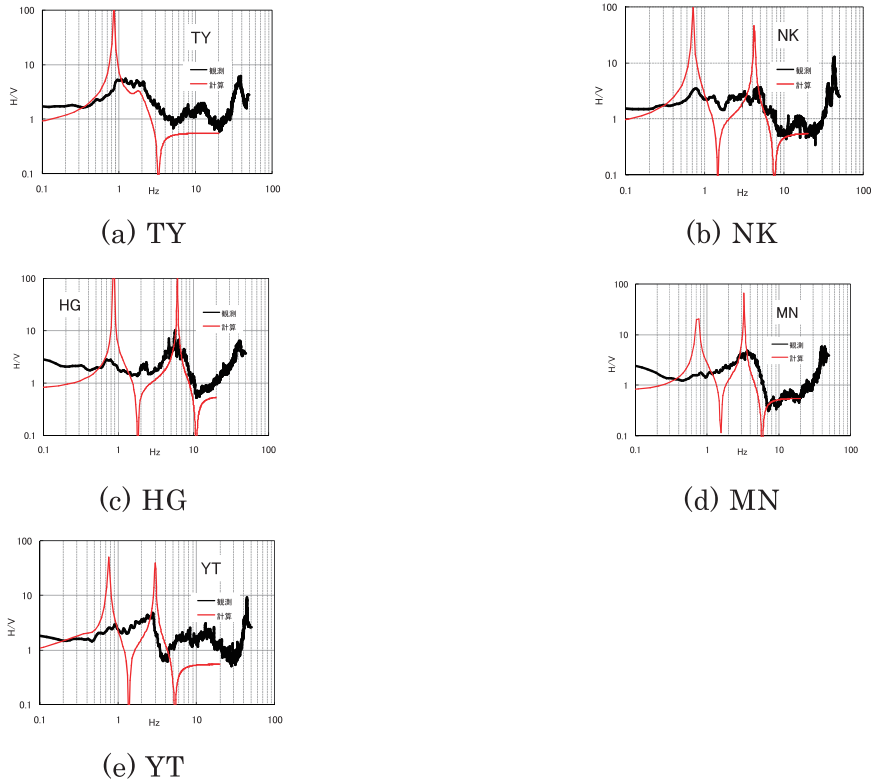


図-5 H/V スペクトル

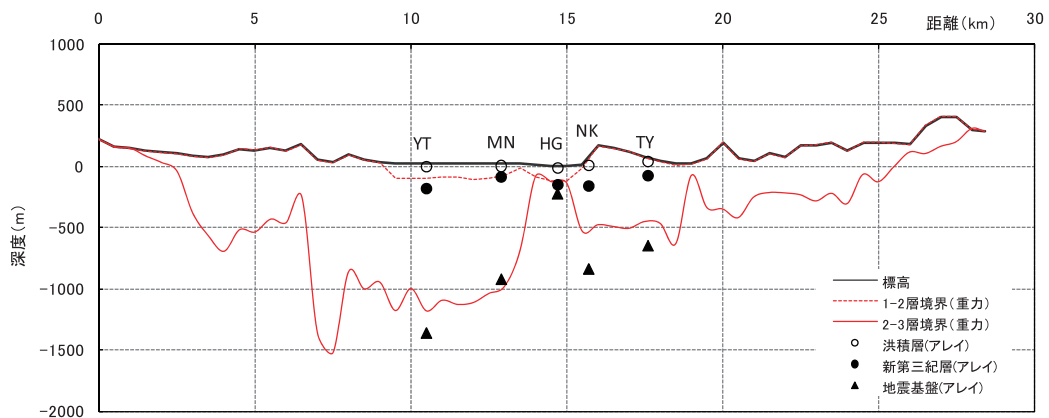


図-6 微動アレイ探査結果と重力解析結果との比較

7. まとめ

- 1) 鯖江断層を横切る断面の地盤構造を明らかにするために、鯖江盆地の南端を走る東西の測線の5つの地点において微動アレイ観測を行った。
- 2) 求めた分散曲線には正の分散性が明瞭にあらわれなかったため、観測波形データに3Hzのローパス・フィルターを施して再解析を行った。その結果、低振動数域に正の分散性が現れた。

- 3) 既往の研究を参考にして、S波速度を既知とする4層からなる地盤モデルを作成した。その地盤モデルを用いて、観測により得られた分散曲線を逆解析することにより表層から地震基盤に至る各層の厚さを推定した。
- 4) 5地点の洪積層の深さは8~25m、新第三紀層の深さは約110~200mと得られた。また、地震基盤の深さは、西端のYT地点が最も深く約1,400mあるのに対して、隣接するMN地点では約940mであった。また、鯖江台地南端のHG地点が最も浅く約220mと得られた。さらに、東端のTY地点と隣接するNK地点では、それぞれ約700mおよび860mと得られた。
- 5) 微動アレイモデルと2次元3層モデルの重力解析結果とを比較したところ、その形状は大局的に一致した。また、両モデルとも鯖江断層と鯖江台地西縁断層に対応したMN~HG間で地震基盤に段差がみられた。なお、断層の東側で両モデルに差がみられたが、今後その原因について検討する必要がある。

謝辞

観測にあたり鳥取大学の上村修史氏、社団法人近畿建設協会の伊藤雅基氏、および、福井工業大学（現 西川電業株）の小竹原明啓氏の協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 山本博文, 岡本拓夫, 小嶋啓介, 木下克美, 江戸信吾: 鯖江断層の地形的特徴とトレンチ調査, 月刊地球, pp.2-9, Vol.30, No.10, 2008.
- 2) 小嶋啓介, 山本博文, 岡本拓夫: 常時微動観測に基づく鯖江断層周辺の地盤構造の推定, 第27回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, 1-7-5, pp.65-66, 2008.
- 3) 野口竜也, 中谷英史, 香川敬生, 安井謙, 小嶋啓介: 重力異常による福井平野および鯖江断層周辺の基盤構造推定, 日本地震学会講演予稿集, p2-79, pp.231, 2009.
- 4) DX-サイズ22年版 鯖江市・越前町住宅明細図, 改訂第34版, 株式会社刊広社, 平成22年6月.
- 5) 岡田廣, 松本健, 森本武男, 笹谷努: 広域・深層地盤調査のための長周期微動探査法, 物理探査, 第43巻, 第6号, pp.402-417, 1990.
- 6) 山中浩明, 石田寛: 遺伝的アルゴリズムによる位相速度の逆解析, 日本建築学会構造系論文集, 第468号, pp.9-17, 1995.
- 7) 石田良平, 村瀬治比古, 小山修平: パソコンで学ぶ遺伝的アルゴリズムの基礎と応用, 森北出版, 1997.
- 8) 山中浩明, 栗田勝実, 瀬尾和夫, 小嶋啓介, 佐藤浩明, 宮腰研, 赤澤隆士: 微動アレイ観測による福井平野のS波速度構造の推定, 地震, 第2輯, 第53巻, pp.37-43, 2000.
- 9) 狐崎長琅, 後藤典俊, 小林芳正, 井川猛, 堀家正則, 斎藤徳美, 黒田徹, 山根一修, 奥住宏一: 地震動予測のための深層地盤P・S波速度の推定, 自然災害科学, 9(3), pp.1-17, 1990.
- 10) 小林喜久二, 阿部康彦, 植竹富一, 小林啓美: 地震動初期微動部の上下動・水平動スペクトル振幅比の逆解析, 日本建築学会大学学術講演梗概集, pp.307-308, 1995.
- 11) 久田嘉章: 成層地盤における正規モード解及びグリーン関数の効率的な計算法, 日本建築学会構造系論文集, 第501号, pp.49-57, 1997.

(平成23年3月31日受理)