

設計用入力地震動におよぼす  
表層地盤の影響評価とその予測法

(課題番号 10650466)

平成10年度－平成12年度科学研究費補助金  
基盤研究(C)(2)研究成果報告書

研究代表者 原田隆典  
宮崎大学工学部教授

平成13年度3月

## はしがき

本研究は、これまでの設計用入力地震動に関するわが国の研究が、観測記録に基づく経験的手法に偏りすぎであるため、観測記録の希薄な断層近傍での地震動評価および大被害地震による地震動評価（観測記録は豊富になったが、大被害を生じさせた地震動の記録はないに等しいと言える。）に問題があるとの認識と、将来の国土利用ではますます地震環境の厳しい状況が予想されるとの認識から始めたものである。震源断層の物理に基づく地震動の理論的研究から構造物設計用の入力地震動を評価しようと試みている研究であり、平成7年度から平成8年度の2年間の文部省科学研究費「設計用入力地震動の改良に関する基礎的研究（基盤研究（C）（2）課題番号07650549）」によって明らかになった課題として震源断層－不整形地盤系の地震動評価に絞って研究したものである。研究は理論的なものなので、大学院修士課程の学生と研究を進め、以下のような個人研究組織で行なった。第1章に示すようにこれまでの地震工学分野では知られていなかった地震動の渦現象や震源断層と不整形地盤の位置関係による地震波の伝播特性の変化と地表の揺れの強さの空間分布特性の変化などの新しい知識と、3次元境界要素法による震源断層－不整形地盤系の数値解析法の道具を提案することができた。しかし、まだまだ地震動の特徴を把握するには至っていないので、本研究で提案した多くの道具を使って、設計用入力地震動の再評価の研究を今後も続ける予定である。

## 研究組織

研究代表者：原田隆典（宮崎大学工学部教授）

## 研究経費

平成10年度	1,600千円
平成11年度	500千円
平成12年度	500千円
計	2,600千円

## 研究発表

(1) 原田隆典、大角恒雄、黒川丈史、断層近傍の地震動特性と地盤増幅特性、第10回日本地震工学シンポジウム論文集、建築学会、Vol.1, pp.845-850, 1998.

- (2) 原田隆典、震源から地表地盤に至る地震波伝播計算における部分解析法の利用、ローカルサイト・エフェクトシンポジウム論文集、土木学会、pp.119-124, 1998.
- (3) 原田隆典、黒川丈史、断層近傍の強震動特性と地盤増幅特性の考察、土木学会第53回年次学術講演会概要集、I(B)287, pp.574-575, 1998
- (4) 原田隆典、大角恒雄、奥倉英世、3次元直交座標系における波動場の解析解とその地震動波形作成への応用、土木学会論文集、No.612/I-46, pp.99-108, 1999.
- (5) 原田隆典、松尾聡一郎、震源から地表地盤に至る地震波伝播計算における部分解析法の応用、応用力学論文集、土木学会、Vol.2, pp.495-502, 1999.
- (6) 原田隆典、黒川丈史、横ずれ断層近傍の地震動および相対変位地震動の特性、第25回地震工学研究発表会講演論文集、Vo.1, pp.69-72, 1999.
- (7) 大熊裕輝、原田隆典、山崎文雄、宮崎県の強震計ネットワークと観測記録の評価、第25回地震工学研究発表会講演論文集、Vo.1, pp.173-176, 1999.
- (8) 大熊裕輝、山崎文雄、松岡昌志、原田隆典、宮崎県の強震観測点における地盤特性、第4回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集、pp.459-462, 1999.
- (9) Harada, T. and Ohsumi, T., Stiffness matrices-based formalism of ground motions synthesis and differential ground motions, Proc. of 12th World Conference on Earthquake Engineering, NZ, Paper No.603/4/R, CD-ROM, 2000.
- (10) 原田隆典、山下肇、剛性マトリックスに基づく地震動の波形合成法と震源断層近傍地震動の渦現象、応用力学論文集、土木学会、Vol.3, pp.569-576, 2000.
- (11) 黒田拓士、原田隆典、岡田洋輔、3次元直接境界要素法による震源断層-不整形地盤系の応答解析、土木学会第56回年次学術講演会概要集、I(B), 2001.

## 謝辞

本研究における数値計算プログラムの作成や数値計算例の作成に関しては、宮崎大学大学院工学研究科博士前期課程、土木環境工学専攻の学生、黒川丈史（平成10年度修了、(現)クボタ建設株式会社）、山下肇（平成11年度修了、(現)石川島播磨重工業株式会社）、黒田拓士（平成12年度修了、(現)日本建設コンサルタント株式会社）、山上武志（平成12年度修了、(現)東京鐵骨橋梁株式会社）、岡田洋輔（(現)大学院博士前期課程一年次）、王宏沢（(現)大学院博士前期課程一年次）ら多くの研究室学生からの援助を受けた。また境界要素法に関しては、東京工業大学、広瀬荘一教授に研究の現状や特異点が生じる  $H$  マトリックスの数値積分プログラムの提供を受けた。ここに記して感謝の意を表す次第である。

# 目次

<b>1</b>	<b>研究の目的と成果のまとめ</b>	<b>1</b>
1.1	研究の目的	1
1.2	研究成果のまとめ	1
1.2.1	震源断層－不整形地盤系の境界積分方程式表示	1
1.2.2	震源断層－埋設矩形谷地盤系における地表面水平変位ベクトルの時間的変化	2
1.2.3	震源断層－埋設矩形谷地盤の位置による地表面の最大速度分布の違い	9
1.2.4	1995年兵庫県南部地震による「地震の帯」との関係	11
<b>2</b>	<b>震源断層－不整形地盤系における波動場の積分方程式表現</b>	<b>13</b>
2.1	波動方程式とグリーン関数	13
2.1.1	波動方程式	13
2.1.2	グリーン関数	13
2.2	波動場の積分方程式表示	14
2.2.1	積分方程式表示－内部問題－	14
2.2.2	積分方程式表示－外部問題－	17
2.2.3	積分方程式表示－入射波問題－	17
2.2.4	積分方程式表示－食い違い境界のある内部問題－	19
2.3	震源断層－不整形地盤系の積分方程式表示	21
<b>3</b>	<b>境界要素法</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>無限弾性体中の運動学的断層モデルによる地震波</b>	<b>27</b>
4.1	点震源に対する運動学的断層モデル	27
4.1.1	点震源モデル	27
4.1.2	無限弾性体における変位グリーン関数	29
4.1.3	無限弾性体中の点震源による地震波動場	30

4.2	矩形断層による地震波動場	32
5	震源断層－矩形谷系の応答解析（その1）	35
5.1	数値計算プログラムの検証	35
5.2	解析モデル	35
5.3	解析結果	37
5.3.1	地表面の変位時刻歴波形	37
5.3.2	地表面の水平変位ベクトルの時間的变化	42
5.3.3	矩形谷内の地表面最大変位、最大速度および最大加速度の分布	45
6	震源断層－矩形谷系の応答解析（その2）	49
6.1	解析モデル	49
6.2	解析結果	49
6.2.1	地表面の変位時刻歴波形	49
6.2.2	地表面の水平変位ベクトルの時間的变化	55
6.2.3	矩形谷内の地表面最大変位、最大速度および最大加速度の分布	58
7	震源断層－矩形谷系の応答解析のまとめ	63
7.1	震源断層と矩形谷の位置による地表面波形の変化	63
7.2	震源断層と矩形谷の位置による地表面の最大変位分布と最大速度分布の変化	67
7.3	1995年兵庫県南部地震による「地震の帯」との関係	70
A	3次元直交座標系における波動場の解析解とその地震動波形作成への応用	73
B	3次元直接境界要素法による震源断層－不整形地盤系の応答解析	85
C	剛性マトリックスに基づく地震動の波形合成法と震源断層近傍地震動の渦現象	89
D	震源から地表地盤に至る地震波伝播計算における部分解析法の応用	99