

常時微動観測と解析による中国遼西地域の(錦州市)の地盤・構造物の動的応答特性に関する研究

何 勇¹・岩楯 徹広²・車 愛蘭³

¹東京都立大学大学院 工学研究科土木工学専攻 博士
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

E-mail: he19761111@yahoo.co.jp

²東京都立大学大学院教授 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

E-mail: rock-tak@ecomp.metro-u.ac.jp

³上海交通大学 岩土力学与工程研究所 (〒200030 海市華山路1954号)

E-mail: alche@situ.edu.cn

本研究は、中国遼西地域(遼寧省錦州市)の地盤・構造物の地震応答特性について常時微動観測、地震応答解析により検討したものである。地盤と構造物を対象に常時微動観測を行い、錦州市の地盤は北部丘陵(A)、中央河川(B)、南部、東部の堆積地盤(C)で卓越振動数に差があり、地震時の表層地盤の応答特性が異なることを明らかにした、これにより、遼西地域地盤の地震時応答特性は、中国の耐震基準(遼西地域の全域で同一の地盤影響係数で評価)では、妥当に評価できないことを確認した。さらに、中国の代表的な構造物について、上述の地盤構造の異なる3地点(A, B, C)に建設されたと想定し、兵庫県南部地震の観測データを用いて、地震応答解析を実施し、地盤構造の違いによる大地震時の応答特性について検討評価した。

Key Words : *Microtremore Measurement, Seismic Response Characteristics, Spectrum ratio (H/V), 1.2-dimensional analysis, Seismic, Western Liao Ning Area*

1. はじめに

中国(図 1.1)は、日本と同様世界有数の地震国の1つであり、中国の歴史資料によると、図 1.2 に示すような地震帯が存在し、過去に、ほぼ全域で地震が発生している。現在、全国 450 の都市の 74.5%が活断層地震帯に位置しており、今後、大地震時には、大きな地震被害を被る可能性がある。中国遼寧省西部(遼西)地域は、中国の東北にあり錦州市を中心として工業、農業および東北地域の交通の重要な役割を担っているが、この地域も地震活動度が極めて高く、過去に 1975 年の遼寧海城地震(M=7.3)、1976 年の唐山地震(M=7.8)となど大きな地震が発生しており、多大な被害を被ってきた。今後、大地震が発生する可能性も高く、地震観測データの取得、耐震設計の基本的な考え方や耐震設計基準・指針の整備、地盤・構造物の耐震性安全性評価の確立などを早急に実施し、都市の防災対策を図ることは極めて重要な問題となっている。

中国では、現在、耐震研究は、十分浸透しておらず、現行の耐震設計では、静的設計を基本として行われている。この地域は、地盤構造が複雑であるに

も関わらず、地震力の評価は、遼西地域全域で、単一の水平地震影響係数(0.08 一定：設計水平震度に相当)で評価しており、地震活動度や地形・地盤の応答特性が十分考慮されていない。

このような背景から、東京都立大学では、錦州市にある中国遼寧工学院と都市の地震防災に関する共同研究を締結し、地盤・構造物の常時微動観測、地震応答解析等を実施し、都市防災に関する基礎データ取得に努めてきた。

本研究は、この共同研究の一環として実施したもので、遼寧工学院校内の地盤・構造物および錦州市の地盤を対象に常時微動観測、地盤の屈折法探査を実施し、地盤及び構造物の地震時応答特性について検討、評価するとともに、兵庫県南部地震相当の大地震に対する地盤・構造物の耐震性について検討したものである。

2. 研究目的

2.1 研究概要

本研究は、中国遼西地域の地盤・構造物を対象として、常時微動観測、地盤の屈折法探査を実施し、

地盤・構造物の地震応答特性を詳細に把握すると共に、これらのデータおよび神戸地震波を用いて、地盤・構造物の地震応答解析を実施し耐震安全性を検討したもので、今後、遼西地域の地盤・構造物の耐震設計と都市防災の基礎資料を得る事を目的としている。

2.2 研究項目

- (1) 常時微動観測による遼西地域の表層地盤の応答特性
 - ・ 24 時間観測による常時微動データの時間的変動の検討・評価
 - ・ 高密度観測による常時微動データの空間的変動の検討・評価
 - ・ 広域的観測による表層地盤の応答特性の検討・評価
- (2) 屈折法探査による表層地盤の地盤構造の検討・評価
- (3) 常時微動観測による構造物の応答特性の検討・評価
- (4) 地震応答解析による大地震時の構造物の応答特性の検討・評価



図 1.1 中国地図

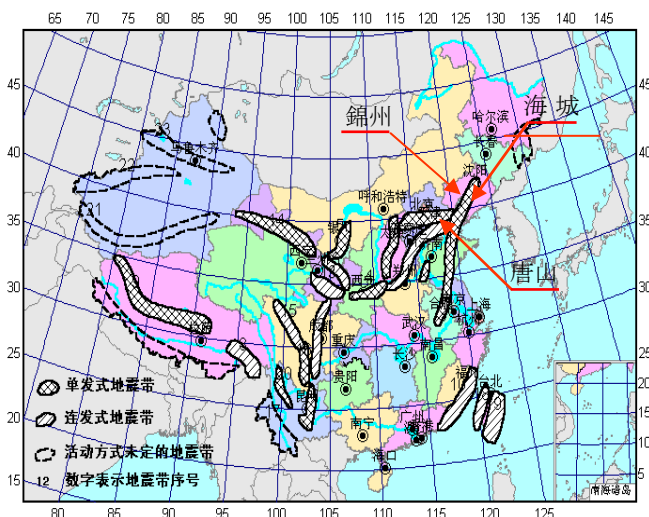


図 1.2 中国の地震分布図

3. 遼西地域の地形・地盤・地震活動

3.1 遼西地域の地形・地盤

遼西地域は、地形は北部丘陵地域(A)、中央部河川地域(B)および南部および東部沖積地域(C)の3つに大別出来る。また、既存の地盤データに基づいて作成した代表的な地盤構造モデルを表 3.1(A)、表 3.2(B)および表 3.3(C)に示す。

①北部丘陵地域(A)は、地表標高：50～61 mで、起伏に富んでおり、表層部分は、埋戻し土($V_s=171\text{m/s}$)、粘土($V_s=182\text{m/s}$)から成り、表層厚さは、2m～6m で比較的薄く、その下に安山岩(基盤 $V_s=400\text{m/s}$)が存在する。基盤はかなり風化していると考ええる。

②中央部(B)は、東西に流れる河川が存在している。表層部分(厚さ：約 10m)は、埋戻し土(127m/s)、粘土(182m/s)、細砂(182m/s)からなり、その下に、砂礫層(円礫： $V_s=229\text{m/s} \sim 342\text{m/s}$)が存在する。

③南部および東部一帯(C)には、沖積地盤が存在する。表層部分は、埋戻し土($V_s=127\text{m/s}$)、粘土($V_s=159\text{m/s}$)、細砂($V_s=160\text{m/s}$)があるが、その下に、層厚約 8m～20m の砂礫層(円礫： $V_s=222\text{m/s} \sim 368\text{m/s}$)が堆積している。

3.2 遼西地域の地震活動

①1970 年以降は、中国の河北省から遼寧省にかけて、地震活動が活発化しており、今後大地震が起こる可能性が極めて高い、図 3.1 に、中国遼寧省の過去の地震活動を示す。主な被害地震は以下の通りである。

②1969 年の遼寧渤海地震($M=7.4$)では、死者は 1.6 万棟の建物も倒壊された^{1,2)}。

③1975 年の海城地震($M=7.3$)では、死者千人近く、地面の液状被害や建造物にも甚大な被害が生じている^{1,2)}。

④1976 年の唐山地震($M=7.8$) (東経 118.2° , 北緯 39.6°)では、死者 24 万人以上、建物の損壊 321 万棟の建物が倒壊するなど大きな被害が生じている¹⁾。

⑤まだ、20 世紀から遼寧省の地震頻度が高くなる¹⁾。

表 3.1 北部丘陵(A1)

ボーリング点(A1)						
層番号	標高(m)	層厚(m)	構成土質	N 値	密度 g/cm^3	せん断波速度(m/sec)
①	61.0	1.0	埋土	4	1.9	171
②	60.0	3.0	粘土	4	1.9	182
③	57.0	1.0	粘土	19	1.9	182
④	56.0		安山岩	40	2.2	400

表 3.2 中央部 (B5)

ボーリング点 (B5)						
層番号	標高 (m)	層厚 (m)	構成土質	N 値	密度 g/cm^3	せん断波速度 (m/sec)
①	26	4.0	埋土	4	1.9	127
②	22	2.0	粘土	6	1.9	182
③	20	1.0	粘土	6	1.9	182
④	19	1.0	細砂	6	1.9	182
⑤	18	3.0	円礫	10	2.0	200
⑥	15		円礫	40	2.0	342

表 3.3 南部および東部 (C1)

ボーリング点 (C1)						
層番号	標高 (m)	層厚 (m)	構成土質	N 値	密度 g/cm^3	せん断波速度 (m/sec)
①	19	1.0	埋土	4	1.9	127
②	18	2.0	粘土	5	1.9	159
③	16	1.0	細砂	8	1.9	160
④	15	17.0	円礫	11	1.9	222
⑤	-2		円礫	30	2.0	368

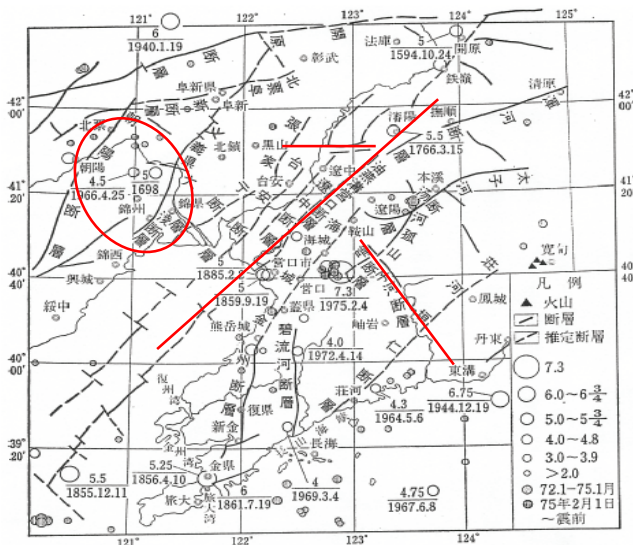


図 3.1 遼寧地域の地震活動

4. 常時微動観測による遼西地域の表層地盤の応答特性

4.1 常時微動観測の概要

(1) 常時微動観測

常時微動観測は、構造物及び地盤の微小ひずみレベルの応答特性（卓越振動数）の評価に有効である。特に、地盤に関しては、既往の研究により地表面の水平成分のスペクトル（H）と上下成分のスペクトル（V）との比（H/V）により、大概であるが表層地

盤のスペクトル特性（卓越振動数）を評価することが可能である^{3,4,5)}。さらに、これらの結果とボーリングデータによる地盤物性データを用いて、表層地盤厚などある程度推定できる^{3,4,5)}。

本研究では、①常時微動の24時間連続観測による観測データの時間的変動、②ボーリングデータなどにより地盤構造・物性が明確な地点を対象とした高密度観測による観測データの空間的変動について検討し、データの信頼性を確認した上で、③錦州市全域を対象とした常時微動観測を実施し、地盤の応答特性を検討した。

(2) 常時微動観測装置

観測に使用した微動計は携帯用地震計（SPC-35F:VSE-15D 型速度計、分析能16ビット、東京測振製）である。

4.2 データの収集と解析

(1) 1 観測点で、水平2方向（NS、EW 方向）と上下方向（UD 方向）の速度成分を、サンプリング周波数100Hz で5分間（30000 データ）同時測定した。

(2) 観測データから、大きなノイズの入っていない定常な部分約20.48秒間（20.48個）のデータを5つ選び出し、それぞれに対してFFT解析を行いフーリエスペクトルを求めた。

(3) 5つを平均して求めた平均フーリエスペクトルを用いて、その地点の、その時間の応答特性（卓越振動数と振幅）を評価した。

(4) スペクトル比〔(H/V) : 水平成分の相乗平均 $\sqrt{NS \times EW}$ と上下成分(UD)との比〕を求めて、地盤の応答特性を評価した。

4.3 24時間連続常時微動観測

遼寧工学院構内の代表地点を対象に24時間連続常時微動観測を実施し、各成分のスペクトルおよびスペクトル比(H/V)の周波数特性(横軸)、振幅(縦軸)について調べ、以下の結果を得た。

(1) スペクトルの周波数特性、振幅

①24時間連続観測で求めた12個の各時刻のスペクトルは、3成分(NS、EW、UD)とも、振幅は異なるが、それぞれほぼ同じ卓越振動数(一定)を示しており、5.7Hz～6.1Hz (NS)、5.7Hz～6.0Hz (EW)および4.1Hz～5.3Hz (UD)となった(図4.3.1, 図4.3.2, 図4.3.3)。周波数特性は、日中と夜間で、差はみられなかった。振幅は、NS、EW、UD成分とも日中(6時～18時)と夜間(18時～6時)では、振幅がことになっており。日中と夜間とでは、日中は、夜間の約2倍の値を示した。

②振幅は、NS、EW、UD成分とも日中(6時～18時)と夜間(18時～6時)では、振幅が異なっており。日中と夜間とでは、日中は、夜間の約2倍の値を示した。

(2) 一方スペクトル比(H/V)は、周波数特性、振幅とも、24時間を通してほぼ一定の値(卓越振動数: 4.1～5.3Hz)を得られており、振幅は10倍となった

(図 4.3.4)。

この結果により常時微動観測データから、スペクトル、スペクトル比(H/V)を求めることにより、微小ひずみレベルにおける表層地盤の応答特性を評価できたと考える。

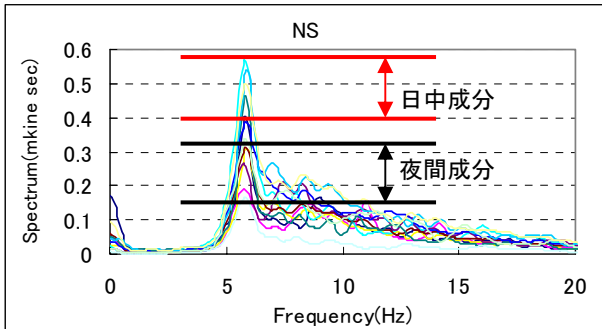


図 4.3.1 スペクトル重ね合わせ(NS成分)

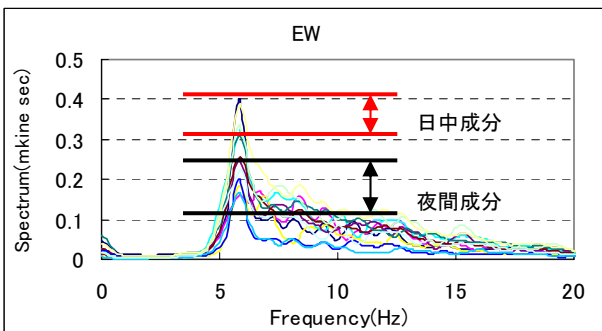


図 4.3.2 スペクトル重ね合わせ(EW成分)

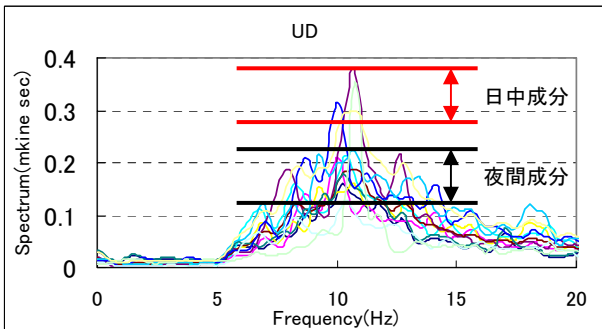


図 4.3.3 スペクトル重ね合わせ(UD成分)

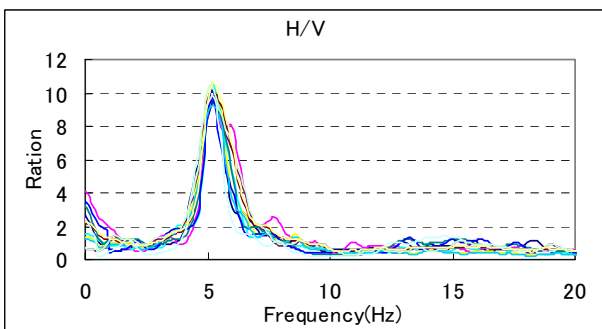


図 4.3.4 成分スペクトル比(H/V)重ね合わせ

4.4 高密度常時微動観測

常時微動観測データの遼西地域の局所的な空間的変動を調べるため、遼西地域中心部において、ボーリングデータにより地盤構造が明らかな地点(表層厚さが異なる)を3ヶ所〔北部丘陵地域(A)5点、中央河川地域(B)4点、南部および東部の沖積地域(C)6点〕を選定し、高密度常時微動観測を行ない、以下の検討を行った。

- ①表層地盤の(H/V)により卓越振動数の評価
- ②1次元重複反射理論による卓越振動数の評価
- ③1/4波長則による表層厚の評価

(1)常時微動観測結果

①北部丘陵地域(A)の卓越振動数は、6.6Hz～10.9Hzで、高い卓越振動数を示し、かなり硬質地盤であることが分る。②中央河川地域(B)の卓越振動数は、1.87Hz～3.81Hzであり、表層地盤の層厚の違いによりかなり幅がある。③南部および東部沖積地盤地域(C)の卓越振動数は、4.2Hz～4.5Hzであり、地域による差はない。

(2)常時微動観測値(H/V)1次元解析値との比較^{3,5)}

中央河川地域(B)、南東部沖積地盤(C)、北部丘陵地域(A)のボーリングデータの有る代表的な地点を対象に、成層地盤構造モデル(図 4.4.1)を作成し1次元解析を行い、得られた伝達関数と微動観測による $H/V^{3,5)}$ と比較した。A地域の結果を示す。観測値と解析値(図 4.4.2 および図 4.4.3)は、良く一致している。ここに、2つの図の横軸は、観測点の基準点からの距離(m)(観測位置)を示す。

(3)1/4波長則による表層厚さの評価

常時微動観測から求めた卓越振動数とボーリングデータによる平均せん断波速度(V_s)を用いて、1/4波長則(4-1)により、(A,B,C)地域の表層地盤厚さを推定し、ボーリングデータによる地盤構造と比較した。A地域の対する結果を図 4.4.4 に示した、1/4波長則により推定した表層地盤厚さとボーリングデータによる推定した表層地盤の厚さは、良い一致を示した。B地域、C地域に対しても同様な検討を行い、良い対応を得た。この結果、常時微動観測データにより、遼西地域の地盤構造(表層厚さ)や応答特性(卓越振動数)を概略評価出来る事が分った。

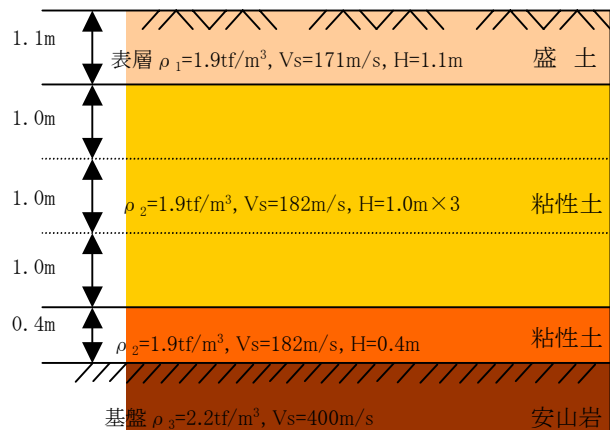


図 4.4.1 ボーリング(A1)点の1次元地盤モデル

$$H = \frac{\overline{V_s}}{4f} \dots \dots \dots \text{(式 4-1)}$$

H : 表層地盤の厚さ

$\overline{V_s}$: 表層地盤内の平均せん断波速度

f : 表層地盤の固有振動数

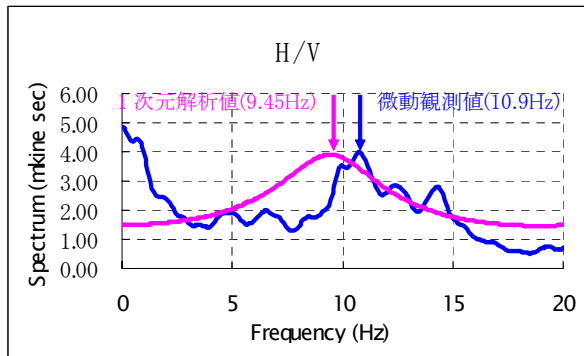


図 4.4.2 A1 点の 1 次元解析による伝達関数と
微動観測による H/V との比較

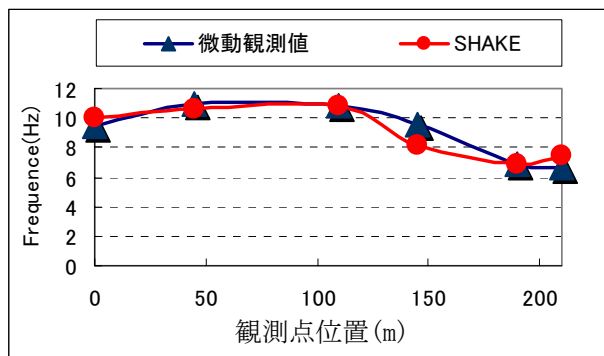


図 4.4.3 A 地域の卓越振動数
(1 次元解析値と微動観測値との比較)

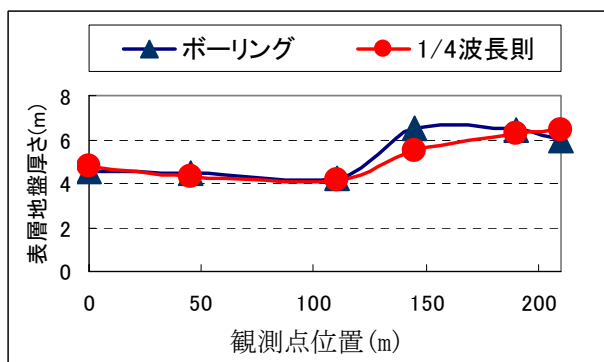


図 4.4.4 A 地域のボーリングデータと
1/4 波長則により推定した表層地盤厚さとの比較

4.5 常時微動観測による遼西地域の地盤応答特性の検討

遼西地域中心部(10kmx10km)を、0.8kmx0.8km に分割し、合計 75 点(図 4.5.1)で広域の常時微動観測を行い、各地点のスペクトル比(H/V)から卓越振動数と 1/4 波長則から、表層地盤の層厚を算定した。^{3, 4, 5, 6)}

(1) 遼西地域の卓越振動数の分布

遼西地域全体の卓越振動数分布図(図 4.5.1)とコンターマップ(図 4.5.2)を作成した。

その結果、大概ではあるが、①北部丘陵地域(A)の卓越振動数は、5.0Hz～18.0Hz とかなりの幅があるが、高い卓越振動数を示しており硬質地盤であることが分る。②中央河川地域(B)の卓越振動数は、2.0Hz～4.0Hz で分布している。③南部および東部の沖積地盤地域(C)の卓越振動数は、2.0Hz～5.0Hz であり、地域による差はあまり見られない。

(2) 表層地盤厚さの算定

表層地盤の層厚は、図 4.5.3 に示すように、遼西地域北部(A)では、表層地盤は比較的薄い(4m～9m)である。遼西地域東部および南部(C)の表層の沖積地盤は、比較的厚い(9m～20m)ことがわかった。また、河川地域(B)では、厚さ 6m～14m となり、比較的大きな差が確認された。これらのデータは、ボーリングデータと良い対応を示した。

以上、常時微動観測により、遼西地域の表層地盤の応答特性および表層地盤の層厚を概略把握した。これらの結果により、地盤の地震時応答特性は中国の耐震基準(錦州市の全域で同一の地盤影響係数で評価)では、妥当に評価できないことが確認出来た。

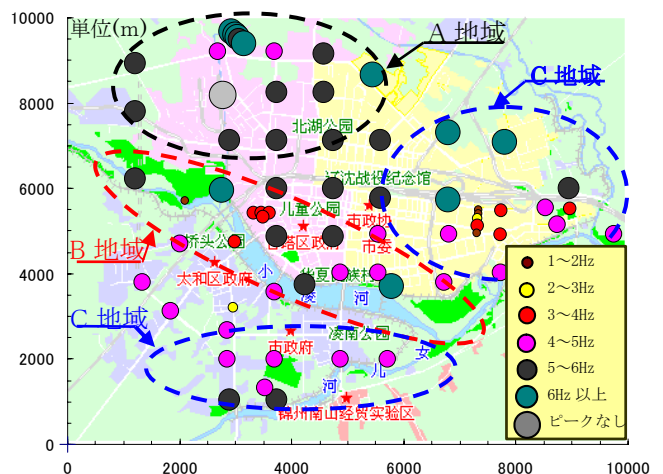


図 4.5.1 遼西地域の表層地盤の卓越振動数分布図
(遼西地域の観測点図)

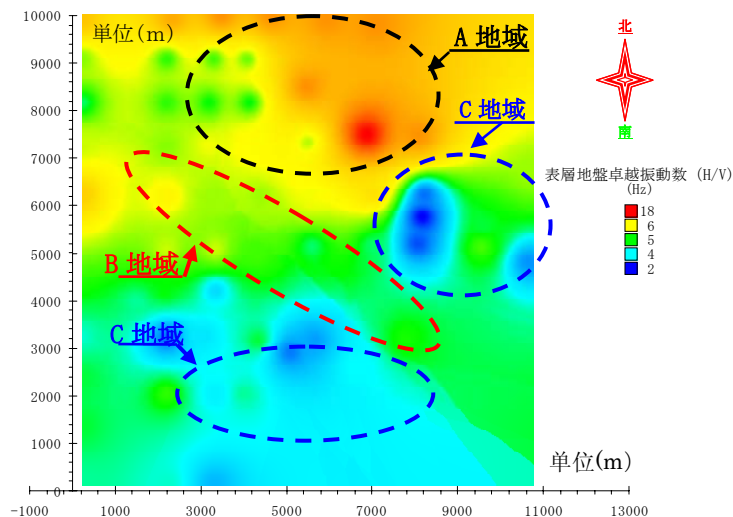


図 4.5.2 遼西地域全体の卓越振動数分布図
(コンターマップ)

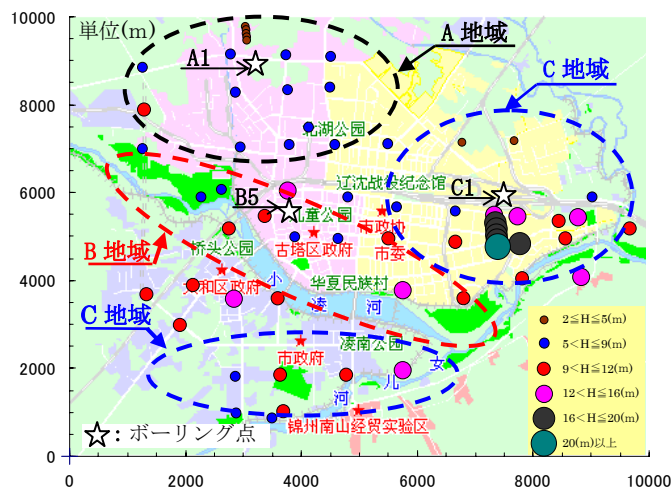


図 4.5.3 表層地盤厚さ分布図

(2)C 地域では、堆積層が比較的厚いため、明瞭な屈波が計測できなかった。このため、表層地盤のせん断波速度だけを評価した。その結果、 $V_s=172\text{m/s} \sim 175\text{m/s}$ となり、ボーリングデータによる結果 ($V_s=180\text{m/s}$) と良い一致が得られた。

以上、屈折法探査試験によって、遼西地域の地盤の地下構造およびせん断波速度を把握出来た。

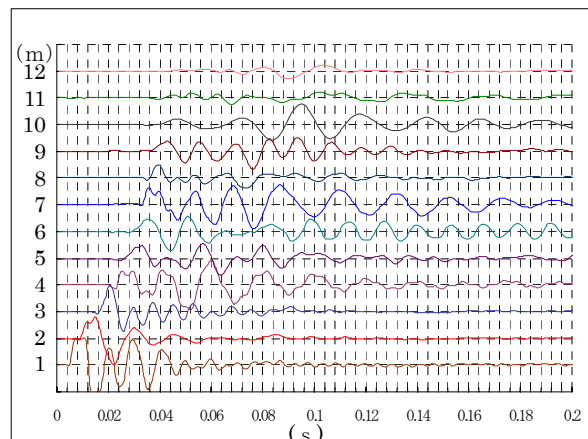


図 5.2.1 A 地域の屈折法探査観測波形

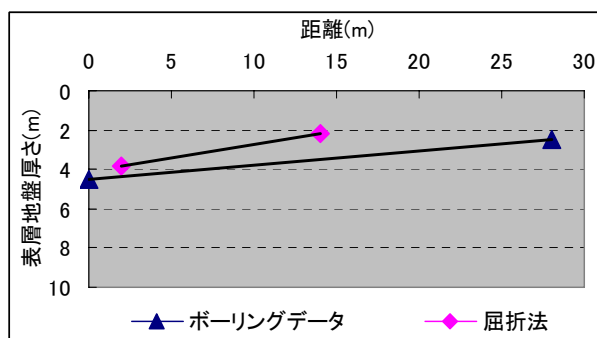


図 5.2.2 屈折法探査とボーリングデータの
表層地盤厚さの比較

5 屈折法探査によるせん断波速度の推定⁷⁾

5.1 地盤探査の概要

遼西地域の表層地盤の地下構造およびせん断波速度を把握するために、表層地盤の地盤状況により、遼西地域北部丘陵(A)の代表な点と遼西地域南部および東部の堆積地盤(C)中の代表な点において、屈折法地震探査を実施した。震源は、かけやで与え、受信点は、1m 間隔で合計 12 点である。

5.2 探査結果

(1)A 地域の観測波形の一例を図 5.2.1 に示す。屈折法探査の結果から、A 地域の表層地盤せん断波速度(V_s)は $189\text{m/s} \sim 192\text{m/s}$ となった。この結果は、ボーリングデータ ($V_s=173\text{m/s} \sim 183 \text{ m/s}$) と良い対応を示した。また、表層地盤の厚さ(2.4m~3.7m)はボーリングデータ (2.6m~4.5m) との比較すると、ほぼ等しい結果が得られた(図 5.2.2)

6 常時微動観測による構造物の応答特性の評価・検討

6.1 常時微動観測による応答特性

(1) 常時微動観測

遼寧工学院構内の高さ(H)の異なる代表的な 2 つの RC 建築物(学生寮:6 階 $H=20.9\text{m}$, 国際交流中心(センター): 8 階 $H=26.5\text{m}$)を対象に常時微動観測を行なった。基礎および各床上 6 箇所で、水平 2 方向(短軸方向、長軸方向)で観測し、それぞれ短軸方向、長軸方向の卓越振動数を調べた。さらに、国際交流センター(1F, 4F, 7F)、学生寮(1F, 3F, 6F)で、NS 方向、EW 方向同時観測し、卓越振動数と応答(振動モード)を評価した。

(2) 観測結果

図 6.1.1 に国際交流センター各階のフーリエスペ

クトル(長軸方向)を示す。また、表 6. 1. 1 に、各構造物の長軸方向、短軸方向の卓越振動数 (Hz) と振幅(mkine)を示す。

①国際交流センターの 1 次卓越振動数(平均値)は、3. 2Hz(長軸方向)、3. 0Hz(短軸方向)であり、応答特性は、それぞれ、8 倍(長軸方向)、9 倍(短軸方向)となった。

②学生寮の 1 次卓越振動数(平均値)は、4. 2Hz(長軸)、3. 7Hz(短軸)、また、応答特性(6F/基礎)は、9 倍(長軸と短軸)となった。

6. 2 構造物の固有値解析

国際交流センターおよび学生寮の 1 次元多質点系モデルおよび 2 次元 FEM モデル(長軸方向および短軸方向)を作成し、固有値解析を行ない常時微動観測結果と比較した(表 6. 2. 1)。

国際交流センターでは、2 次元解析では、4. 3Hz(長軸、短軸方向)となり、常時微動観測結果より若干高い。一方、学生寮は、3. 8Hz(長軸方向)、4. 0Hz(短軸方向)で、常時動観測結果と良く一致している。

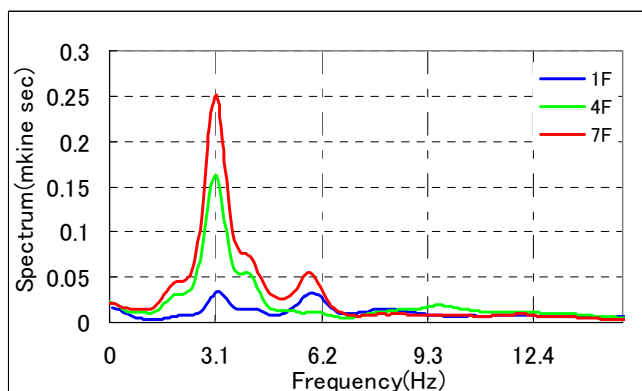


図 6. 1. 1 国際交流センターの長軸方向常時微動観測波形のスペクトル

表 6. 1. 1 スペクトル解析の卓越振動数及び振幅一覧表

		卓越振動数 (Hz)		振幅(mkine)	
構造物	階数	長軸方向	短軸方向	長軸方向	短軸方向
国際交流中心	1	3. 32	3. 03	0. 03	0. 03
	4	3. 13	2. 93	0. 16	0. 18
	7	3. 13	2. 93	0. 25	0. 27
学生寮	1	4. 3	3. 81	0. 03	0. 02
	3	4. 2	3. 71	0. 12	0. 08
	6	4. 2	3. 71	0. 26	0. 19

6. 3 提案式により構造物の応答特性の評価

日本および中国で提案されている 1 次固有振動

数(f_1)と高さ (H) との関係式(6-1)式、(6-2)式を用いて、1 次固有振動数を求め観測結果と比較した

(a) 日本の建築学会の提案式

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0.015H} = \frac{66.7}{H} [Hz] \quad (6-1)$$

中国の提案式

$$T_1 = 0.22 + 0.035H / \sqrt[3]{B} \quad (6-2)$$

H : 建築物の平均高さ (m)

B : 建築物の平均幅 (m)

なお、平均高さおよび平均幅は、国際交流センターで、H=17. 7m, B=56m(長軸), B=32m(短軸)、学生寮で、H=19. 8m, B=48m(長軸), B=14m(短軸)である。

表 6. 2. 1 および図 6. 2. 1 に、常時微動観測結果と評価式による結果を比較して示す。

常時微動観測値は、日本の提案式とは比較的良く対応しているが、中国の提案式とは若干差がある。今後、検討を加える必要があると考える。

表 6. 2. 1 卓越振動数比較表

	国際交流センター		学生寮	
	長軸	短軸	長軸	短軸
微動観測値(Hz)	3. 2	3. 0	4. 2	3. 7
二次元解析値(Hz)	4. 3	4. 3	3. 8	4. 0
中国の経験式(Hz)	2. 5	2. 2	2. 5	2. 3
日本の提案式(Hz)	3. 8		3. 4	
一元解析値(Hz)	2. 9		4. 0	

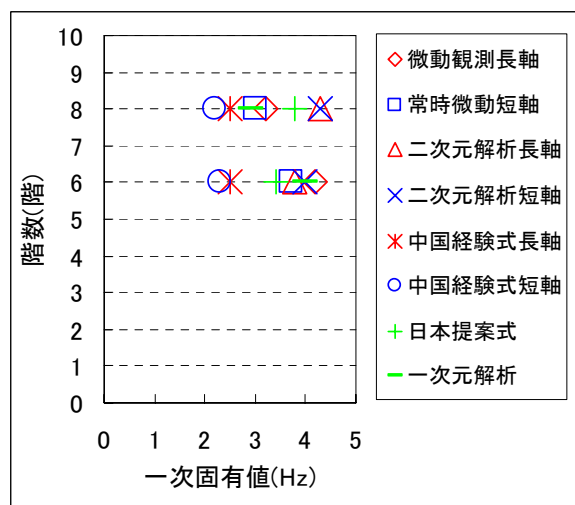


図 6. 2. 1 常時微動観測値、解析値及び提案式値との比較

7 地震応答解析による大地震時の構造物の応答特性の検討・評価

7.1 地震応答解析の概要

大地震時の構造物の応答特性を評価することを目的に、遼西地域の代表的な RC 建築物として、常時微動観測を行なった国際交流センターを対象として、遼西地域の地盤構造の異なる 3 地点〔北部丘陵(A)、中央河川地域(B)、東部および南部沖積地(C)〕に建設されたと想定し、兵庫県南部地震の地震観測データ(神戸海洋気象台記録波形 NS 成分、最大水平加速度:818gal)を入力とした、解析コード TDAPⅢを用いて、地盤構造の違いによる応答特性と構造物の軸力、せん断力について評価した。さらに、中国の耐震基準(静的解析)により最大せん断力を評価し比較した。

7.2 2次元動的応答解析

地盤を2次元平面ひずみモデル、構造物を2次元の梁モデルにモデル化し、地盤材料の非線形性を等価線形法で模擬し、地震応答解析を実施した。

図 7.2.1 に長軸方向の解析モデルを示す。また図 7.2.2 に、地盤材料の非線形特性($G-\gamma$ 曲線, $h-\gamma$ 曲線)⁸⁾を示す。なお、本曲線は、現場試験データがないため、既往の研究結果を参考に設定した⁸⁾

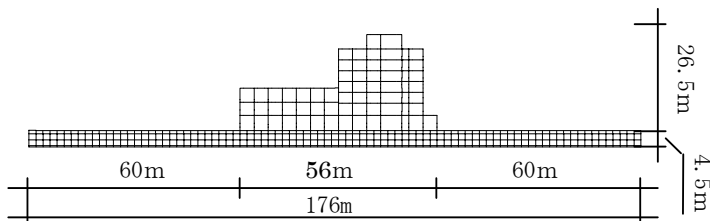


図 7.2.1 A 地域の国際交流中心の 2 次元解析モデル
(長軸断面)

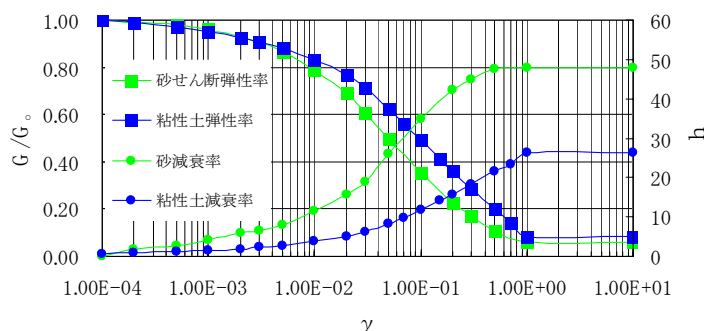


図 7.2.2 $G-\gamma$ 曲線, $h-\gamma$ 曲線⁸⁾

7.3 中国耐震基準による静的解析

(7-1)式、(7-2)式、(7-3)式に、中国の耐震基準により地震時の最大せん断力(F_{EK})算式を示す。

$$F_{EK} = \alpha_1 G_{eq} = \alpha_1 \times 0.85 \times \sum_{i=1}^n G_i \quad (7-1)$$

$$\alpha_1 = \left(\frac{T_g}{T_1} \right)^{0.9} \alpha_{\max} \quad (7-2)$$

ここに

G_i : 建築物の重量

0.85: 建築物の重量の調整係数

n : 建築物の層数

T_g : 遼西地域の地盤 ($T_g=0.2s$)

T_1 : 構造物の固有周期 ($T=1/f_1$)

$\alpha_{\max}$: 水平地震影響係数(錦州は 0.08、大地震時は 0.5 であり)

7.4 解析の結果

(1) 2次元動的応答解析

①図 7.4.1, 図 7.4.2 に A 地域に建設された構造物の軸力分布、せん断力分布を示す。

②図 7.4.3, 図 7.4.4 に 3 つの地域に建設された構造物の最大軸力、最大せん断を比較して示す。軸力、せん断力とも、沖積地盤が堆積している C 地域で最も大きい値を示し、北部丘陵地域 (A 地域) の約 5 倍となっており、地盤特性の影響を強く受けていることが確認できた。

(2) 中国耐震基準による最大せん断力

兵庫県南部地震 (818gal) 相当の地震入力に対しては、地震影響係数 ($\alpha_{\max}$) は 0.5 となる。また、中国の経験式から得られた、国際交流センター卓越周期は、短軸方向 (0.4 s)、長軸方向 (0.45s) となる。これらの結果を用いて、 α_1 を求めた。

その結果、A 地域に対して、

短軸方向

$$\alpha_1 = \left(\frac{T_g}{T_1} \right)^{0.9} \alpha_{\max} = \left(\frac{0.2}{0.4} \right)^{0.9} \times 0.5 = 0.26$$

長軸方向:

$$\alpha_1 = \left(\frac{T_g}{T_1} \right)^{0.9} \alpha_{\max} = \left(\frac{0.2}{0.45} \right)^{0.9} \times 0.5 = 0.24$$

が得られた。

さらに、等価重量 $G_{eq}=1689 \times 0.85=1436 tf$ を用いて、短軸方向の最大せん断力、長軸方向の最大せん断力を求めると

短軸方向の最大せん断力

$$F_{EK} = \alpha_1 G_{eq} = 0.26 \times 1436 = 373 tf$$

長軸方向の最大せん断力:

$$F_{EK} = \alpha_1 G_{eq} = 0.24 \times 1436 = 345 tf$$

となる。

(1)表 7.4.1 に、3 つの地域に対する長軸および短軸方向の最大せん断力を後述の中国の耐震基準による結果と比較して示す。応答が小さかった A 地域で、最もよく対応する結果が得られた。

中国の基準では、一定の震度を用いているため地盤特性の影響を十分評価できない。今回の検討で

は、地盤応答特性が小さいA地域に対する評価はできるが、地盤応答特性が大きいB,C地域では適当な評価ができなかった。

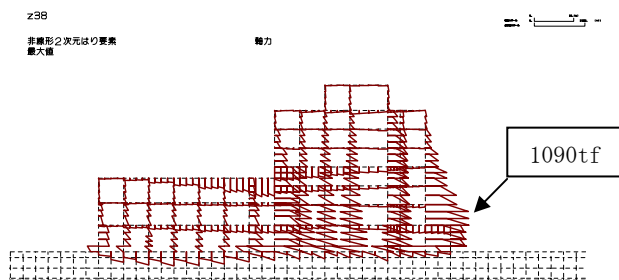


図 7.4.1 軸力分布図(長軸方向)

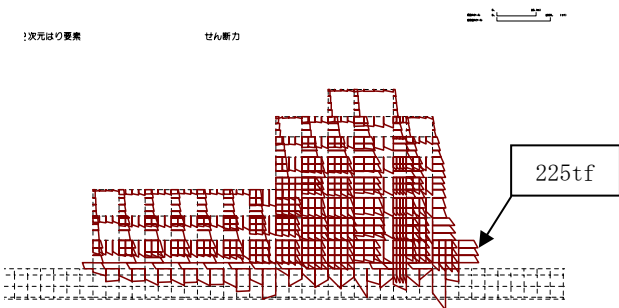


図 7.4.2 せん断応力分布図(長軸方向)

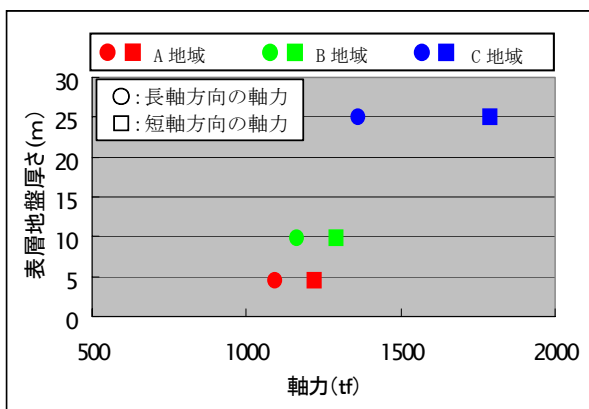


図 7.4.3 表層地盤条件の違い状況(A, B, C)により構造物の最大軸力の比較 ○:長軸 □:短軸

表 7.4.1 構造物の最大せん断力の比較

	二次元地震 応答解析		中国耐震基 準により	
	長軸 ○	短軸 □	長軸 ○	短軸 □
A 地域での せん断力 (tf)	225	372	345	373
B 地域での せん断力 (tf)	246	435	345	373
C 地域での せん断力 (tf)	370	482	345	373

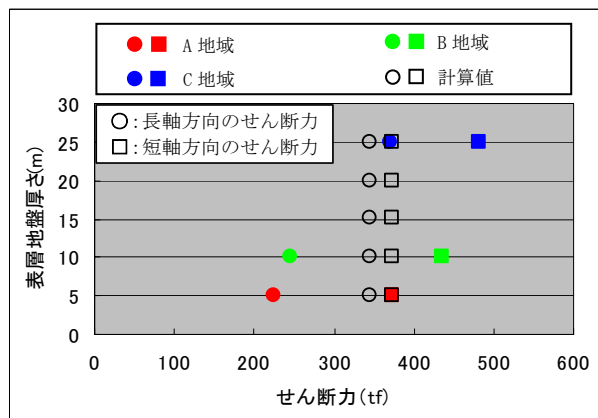


図 7.4.4 2次元応答解析と中国耐震基準(計算値)による構造物の最大せん断力の比較
(表層地盤条件の違い状況(A, B, C)により構造物の最大せん断力の比較)
○:長軸 □:短軸

8 まとめ

- (1) 遼西地域(錦州市)において常時微動観測を行い、詳細な地盤応答特性を把握した。
- (2) 遼西地域は、北部丘陵地域(A)、中央部河川地域(B)および南部および東部一帯で、地盤構造が異なるため、表層地盤の応答特性にかなりの差がみられ、現行の地震影響係数(全域一定)では、地盤・構造物の耐震性を妥当に評価できない事が明らかとなった。
- (3) 遼寧工学院の国際交流センターが、遼西地域の地盤構造が異なる3つの地盤に建設された想定し、大地震時の応答特性について検討した結果、構造物の最大軸力・最大せん断力は地盤特性の影響を強く受けており、中国の耐震基準による評価(地震影響係数が一定)では、地盤特性を十分反映できず妥当な評価ができないことが明らかとなった。今後、地盤特性の影響を考慮し検討を進める必要がある。

以上の結果は、中国遼西地域の地震防災のための基礎資料として有益なものとする。

参考文献

- 1) 李宏男、王前信、建築耐震設計原理[M]。北京：中国工业出版社，1993年11月20日
- 2) 岩楯敏広 精木紀男 正木和明 荏本孝夫など 地震工学・振動学入門[M]。東京：集文者吉井書店1997年4月
- 3) Takahiro Iwatate, Study on seismic site response characteristics of Tokyo Metropolitan University (TMU) area[P], proceeding of the second international symposium on the effect of surface geology on seismic motion, 12, 1998
- 4) 岩楯敏広、小田義也など、逗子地域の表層地盤の応答特性に関する研究[C]，第11回日本地震工学シンポジウム 2003年12月

- 5) 中村、上野：地表面震動の上下成分と水平成分を利用した表層地盤特性推定の試み[D]、第7回日本地震工学シンポジウム概要集、1986年12月
6) 中村豊、常時微動観測に基づく表層地盤の地震動特性の推定、鉄道総研報告[D]、1988年4月
7) 佐々宏一、物理探査[M]、東京：森北出版株式会社、1993年11月20日

- 8) 車愛蘭、岩楯 徹広：地下鉄構造物の模型振動実験の数値シミュレーション、第36回地盤工学研究発表会、pp1979-1980、2001

(2005. 3. 15 受付)

Study on Seismic Characteristics of the Ground and Structure in the Western of Liao Ning Province (Jinzhou-city), China

Yong He¹ Takahiro Iwatete² Ai Lan Che³

(¹ Doctor Course student, Department of Civil Engineering, Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University Japan)

(² Professor, Department of Civil Engineering, Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University Japan)

(³ Institute of Geotechnical Engineering Shanghai JiaoTong University China)

In order to elucidate the seismic vulnerability of Western of Liao Ning Province (Jinzhou city), China, based on its surface ground motion, the micro tremor measurements were carried out at 75 points in the center area which spans 100 sq.(10km x10km), and the PS exploration tests at two area. From these data, the predominant frequencies of the ground were evaluated by the Fourier spectra of each components (NS, EW, and UD), and Fourier spectra ratio (NS/UD and EW/UD).

The north of Jinzhou city (A-zone) shows a predominant frequency range of 5Hz~18Hz and the south of it shows a predominant frequency range of 2Hz~4Hz. The shear velocity of the surface ground was about 180m/s. The fundamental frequencies of the typical buildings (The international communication center of Liaoning Institute of Technology) Moreover, the seismic response analyses of typical structure of Jinzhou city due to the observed earthquake motion of Kobe were performed, and the dynamic behaviors were estimated. These results will be useful for seismic disaster mitigation in Western of Liao Ning Province.