

## 中国における強震動予測と地震災害の軽減・防御に関する共同研究

### ——唐山地域における強震動観測網——

松波孝治・章文波\*

\*中国国家地震局工程力学研究所

#### 要旨

中国唐山地域を対象として、震源の物理的性質、地震波の伝播経路特性及び表層地質の地震動に及ぼす影響等の評価に基づいた強震動予測手法の開発に関する研究とその検証を目的として、同地域に強震動観測網を構築した。同観測網は 8 地点での地表観測と 1 ヶ所でのボアホール観測 (-32, -16, 0 m) から成る。これまでにマグニチュード (M) が 2.2 から 5.7 の地震が 60 個観測された。ボアホールで観測された地震データと微動記録から、表層地質の共振周波数は 4 Hz 付近にあることがわかった。ボアホール内の地表面と地下のコーダ Q ( $Q_c$ ) 値に顕著な違いはないが、地下深くなるにしたがい  $1/Q_c$  値は小さくなる。これは、地表面の  $1/Q_c$  値が表層地盤の影響 (吸収減衰) を受けているためと考えられる。

キーワード：強震動予測、震源、地震波、サイト特性、表層地質、強震観測

#### 1. はじめに

防災研究所 (DPRI) では、平成 6 年度から「中国及びインドネシアにおける自然災害の予測とその防御に関する国際共同研究」を 5 ヶ年計画で推進している。本研究事業はその一部であり、「中国における強震動予測と地震災害の軽減・防御に関する共同研究」を主に中国国家地震局 (SSB) 工程力学研究所 (IEM) と行っている。

北京の東方約 160 Km に位置する唐山市は、1976 年 7 月 28 日 3 時 42 分 (現地時間) に  $M_s=7.8$  の大地震 (唐山地震) に襲われた。この地震により唐山市は今世紀最大の被害を受け、死者数は 24 万人、重傷者数は 16 万人にのぼった。SSB (1982) によれば、最高震度 (MM 震度階) は 11 であった。人工百万人以上の工業都市で、壊滅的な破壊が発生した。建築土木構造物の 94%、工業施設の 80% が崩壊あるいは大きな被害を受けた。これらの構造物は、わずかの工業施設が震度 7 の耐震設計を施されていた以外は、地震に対する配慮が全く為されていなかった。

本共同研究は、この中国唐山地域を対象として、

震源の物理的性質、地震波の伝播経路特性及び表層地質の地震動に及ぼす影響等の評価に基づく強震動予測手法の開発に関する研究と、同地域の過去の豊富な地震災害資料を用いた予測手法の検証を目的としている。DPRI は本研究の推進に必要な地震動データを取得するため、これまでに唐山地域に計 6 点の強震動観測点を設置した。一方、IEM はすでにこの地域で強震観測を展開していたが、この共同研究に呼応して 1 ヶ所のボアホール観測点 (0, -16, -32 m) を新設した。

本稿では、これら強震観測網の概要、この地域に分布している堆積層の震動特性を地震観測記録及び微動観測記録を用いて予想的に解析した結果及びボアホール内地表観測点と地下観測点のコーダ  $Q_c$  値を求め比較・検討した結果等を報告する。

#### 2. 唐山地震の概要

Fig. 1 に、中国国家地震局 (SSB(1982)) から出された唐山地震以後 2 年間のマグニチュード ( $M_s$ ) 3 以上の地震の震央分布図を示す。余震域は北東—南西方向に広がり、全長約 150 Km、幅約

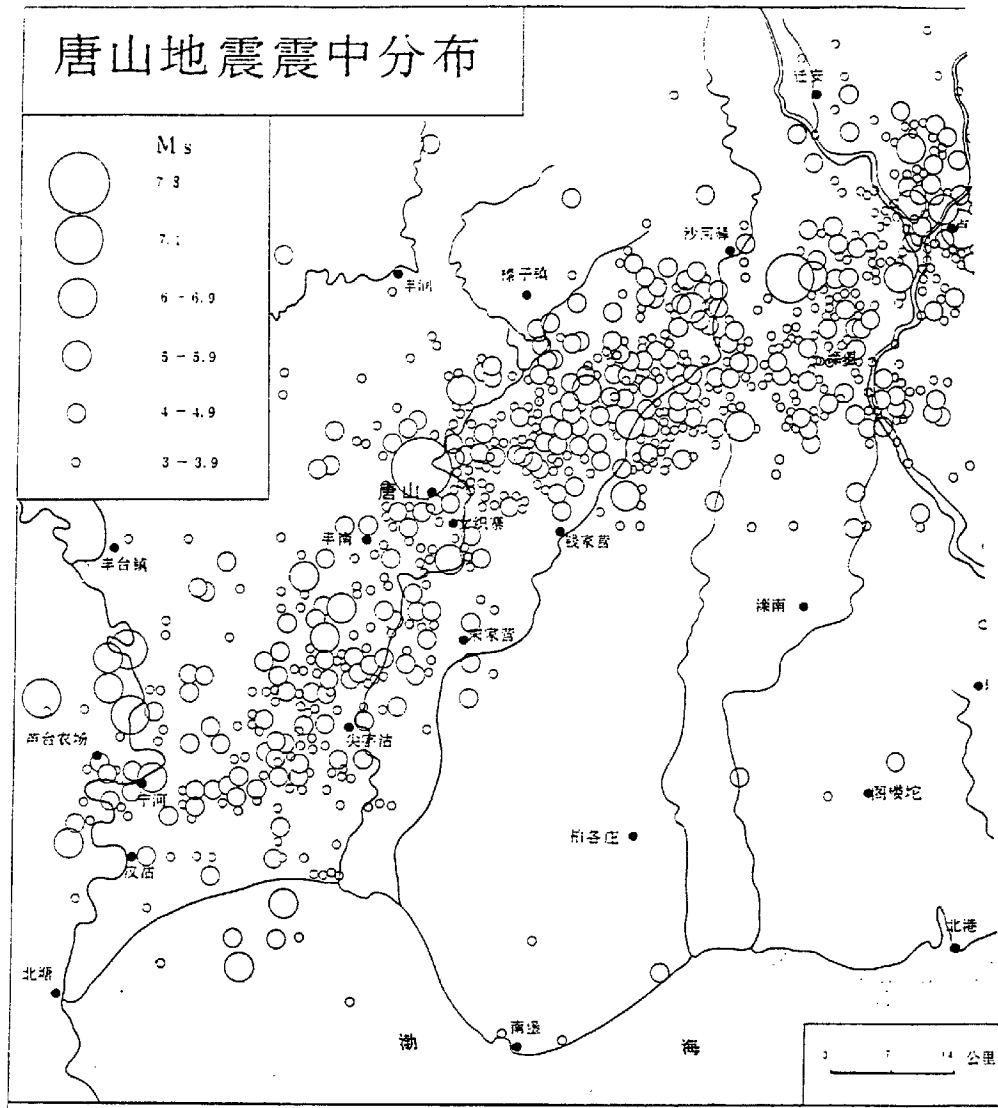


Fig. 1 Epicenter distribution of aftershocks of the 1976 Tangshan earthquake

40 Km と報告されている。また、Fig.2 に、同じく SSB から報告されたものであるが、震源過程、震度分布等の図を示す。唐山地震に関連するこれまでの研究としては、Butler et al. (1979), Zhang et al.(1980), Ishikawa et al.(1983), Kikuchi and Kanamori(1986), Yuan et al.(1986), Nablek et al. (1987), 壇・他(1991)等がある。特に、Nablek et al. (1987) によれば、本震は三つの subevent から成る。最初の二つは右横ずれ型で、北東—南西方向に走る Tangshan fault (唐山断層) の唐山市より北東側の segment と、同じく南西側の segment で発生した。また 3 番目の subevent

は逆断層型で、Tangshan fault の南西端で同断層と交差し東西方向に走る Mingch-Changli fault 上で発生した。

最大余震 ( $M_s=7.2$ ) は本震の 15 時間後に余震域の北東端部分で発生した。この地震は正断層型であった。これはこの地域が pull-apart 地域であったためとされている。

震度分布を見てみると、等震度線は唐山市を中心にした楕円状になっている。特に、唐山市は震度 11 の激震区となっており、この地震が正に唐山市を直撃したことが見てとれる。一方、唐山市の北西にある玉田地域では、周囲が震度 7 であるのに

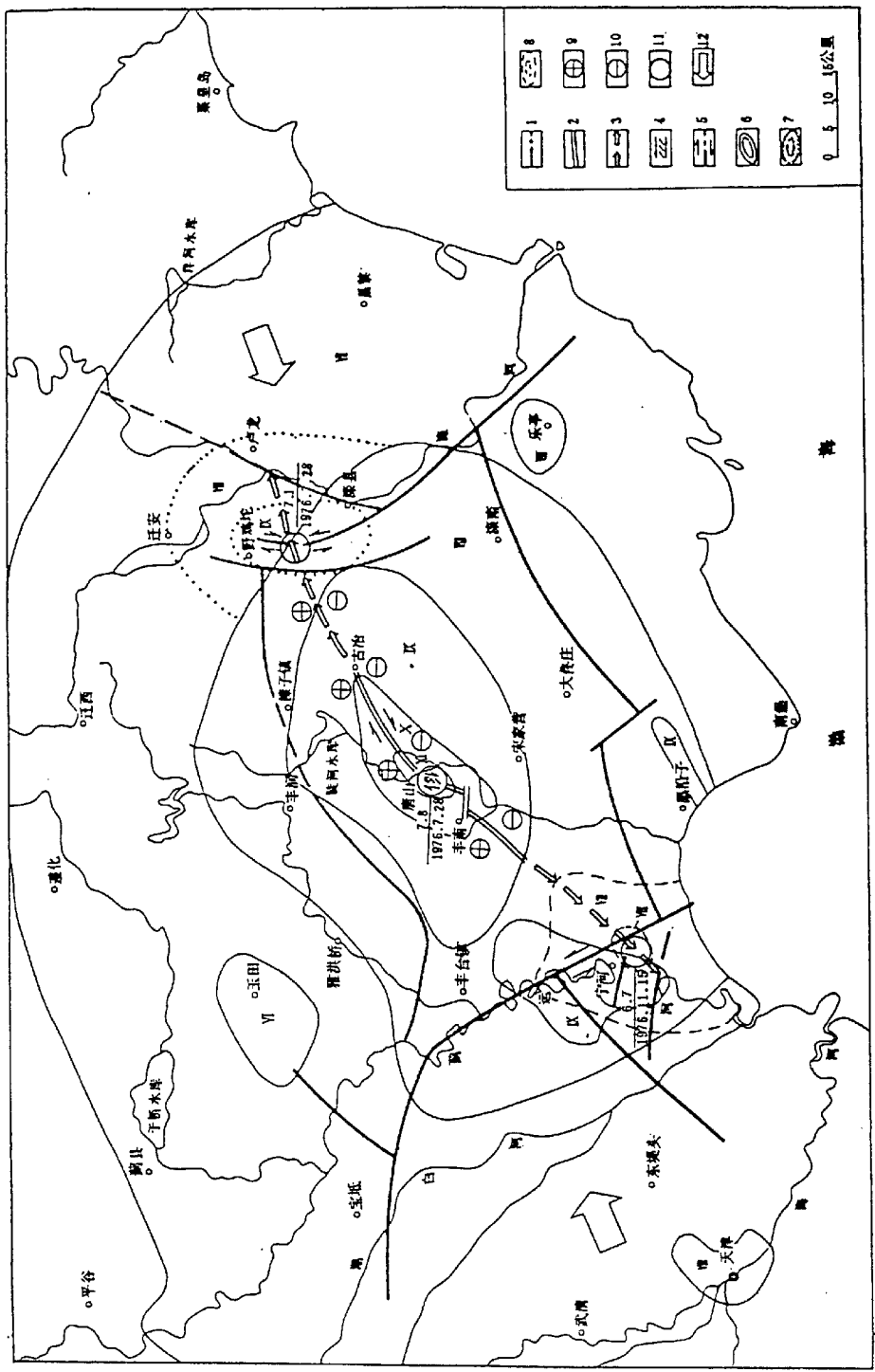


图3.33 唐山地震发震构造分析图

1. 与发震构造有关的断裂, 2. 发震断裂, 3. 推测7.8级地震发生时的破裂发展方向, 4. 地裂缝剪切带, 5. 平移断层, 6. 7.8级地震烈度线, 7. 7.1级地震烈度线, 8. 6.9级地震烈度线 (据天津地震局资料), 9. 地震时地壳上升区, 10. 地震时地壳下沉区, 11. 地震震中, 12. 区域应力场中主压应力方向

Fig. 2 Faulting process and seismic intensity distribution of the Tangshan earthquake

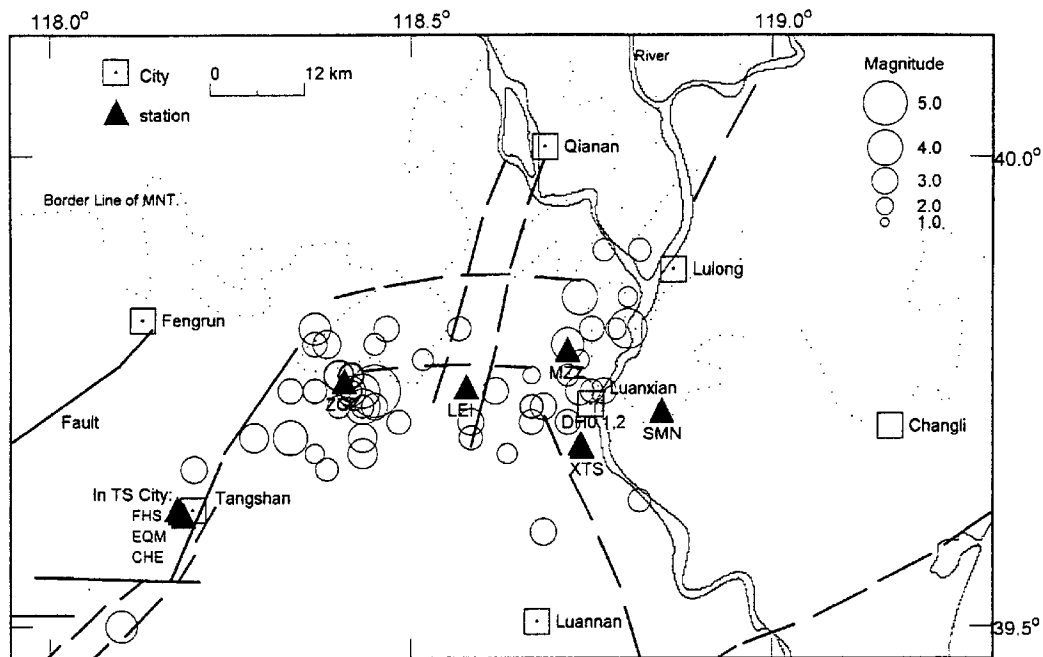


Fig. 3 Station location, epicenter distribution of observed earthquakes and active fault distribution in Tangshan

対して震度 6 となっている。この原因については Hao et al. (1994) が人工地震により得られた地震動データを用いて表層地質構造の影響及び伝播経路特性の観点から検討している。

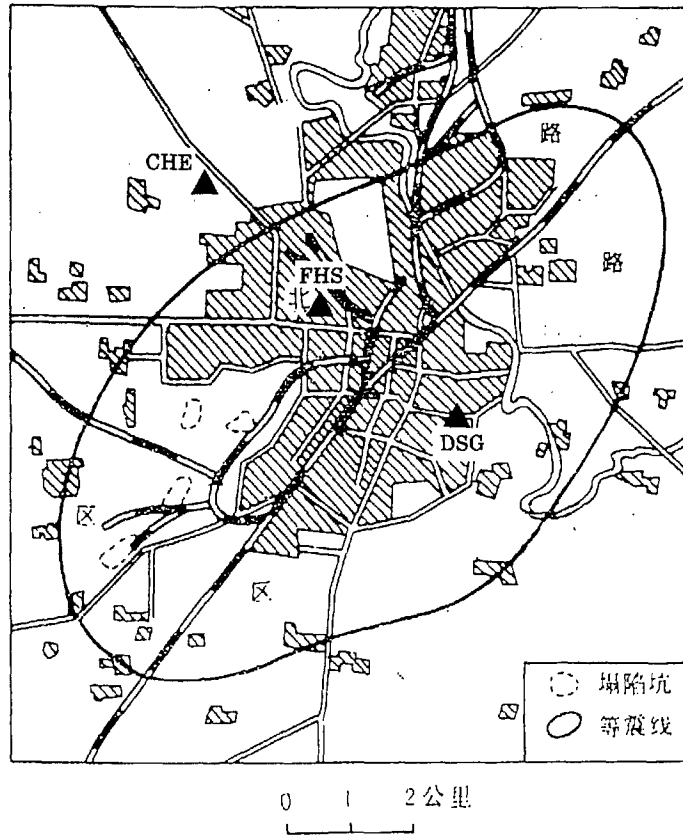
### 3. 強震観測点

Fig.3 に、DPRI と IEM が設置した観測点 (▲印) の配置、活断層分布 (太線) 及びこれまでに観測された地震のなかで SSB により震源が報告されている地震の震央分布を示す。なお、図中の Tangshan (唐山) には観測点が 3ヶ所 DPRI によって設置されており、その配置は Fig.4 に示されている。地震は活断層付近に分布している。また、ZGZ および MZZ 付近に地震が多く発生している。これまでに観測された最大規模のものは 1995 年 10 月 6 日に発生した  $M_s=5.7$  の地震であった。観測点のうち、岩盤上にあるのは ZGZ と XTS であり、LEI, MZZ 及び SMN は地盤上にある。ボアホール観測は XTS の北西およそ 300m 地点の DH0 (GL 0m), DH1 (GL-16m), DH2 (GL-32m) で行われている。XTS 及びボアホールは Xiangtang 村にある。この村は、Fig.3 の太線で示された活断層分布から分かるように、北北東—南南西に走って

いる Taoyun 断層と南南東—北北西に走る Leting 断層の交差点付近に位置している。また、MZZ, LEI 及び ZGZ はほぼ東西に走る断層に沿って位置している。1976 年の唐山地震の最大余震 (1976 年 7 月 28 日,  $M_s=7.2$ ) はこの断層上で生じた。これらの観測点が設置されている地域は現在も地震活動は高い。

Fig.4 は Tangshan 市内に設置された三つの観測点の配置を示すと同時に、Tangshan (唐山) 地震の際の Tangshan 市内中心部の建物の被害分布を示している。斜線で示されている部分は建物の倒壊率が 90%以上 の地域であり、太線は震度 11 の等震度線を示す。観測点はこの被害地域を横断するような配置になっている。FHS は公園の岩盤上にあり、DSG (EQM) 及び CHE は地盤上にある。

Table 1 にはこれら観測点の位置、サイト条件及び設置されている強震計のタイプ等が示されている。いずれも 3 成分観測である。CV901 は速度型の強震計であり、最大 40 cm/s まで測定可能である。PDR1, SMA1, KELUNJI 及び SSR1 は加速度型の強震計である。測定可能最大加速度は、 $1g \sim 2g$  である。Table 2 に震源と各観測点の観測状況を示すリストを示す。



唐山地震的极震区(十一度区)范围

Fig. 4 Station location and heavily damaged area in central Tangshan city

Table 1 List of Observation Stations and Instruments

Station	Lat.	Long.	Instrument	Site Condition
ZGZ	39.761°	118.407°	CV901, Kelunji, PDR-1, SMA-1	Rock
LEI	39.755°	118.576°	Kelunji	Soil
MZZ	39.795°	118.716°	CV901, PDR-1	Soil
SMN	39.730°	118.847°	CV901	Soil
FHS			CV901	Rock
CHE			CV901	Soil
EQM			CV901	Soil
XTS	39.692°	118.736°	CV901, PDR-1	Rock
DH0	39.695°	118.734°	SSR-1	Soil 0m
DH1	39.695°	118.734°	SSR-1	Soil -16m
DH2	39.695°	118.734°	SSR-1	Rock -32m

Velocity type: CV901;

Acceleration type: SSR-1, PDR-1, Kelunij, SMA-1.

#### 4. ボアホール観測

Fig.5 に Xiangtang のボアホール観測点 (XTD) 付近のおおまかな地下断面図を示す。XTD では約 30m で基盤岩に達する。基盤岩—堆積層境界面は複雑な形状をしており、約 300m 南東の XTS は露岩上にある。

Fig.6 にボアホール内での地震計の配置、地盤柱

状図および S 波速度構造を示す。地震計 (加速度計) は地表, GL-16m 及び GL-32m に 3 成分が設置されている。地表から GL-12m までは S 波速度が 249~270 m/s の粘土層, 砂層等の互層になっている。GL-12m から GL-32m までは S 波速度が 538~552 m/s の強風化花崗岩である。GL-32m から下部は中間的風化花崗岩 (基盤岩) である。

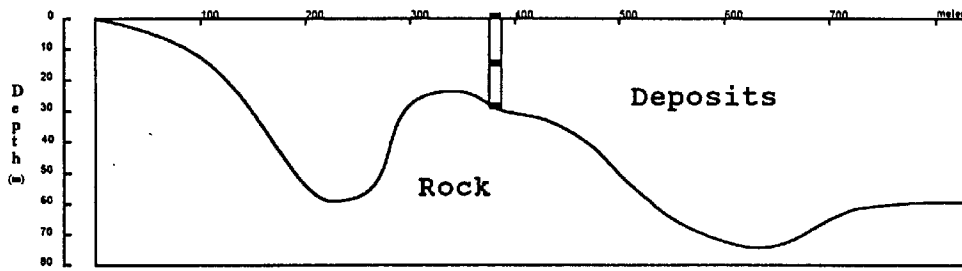


Fig. 5 Section of Tangshan bore-hole array

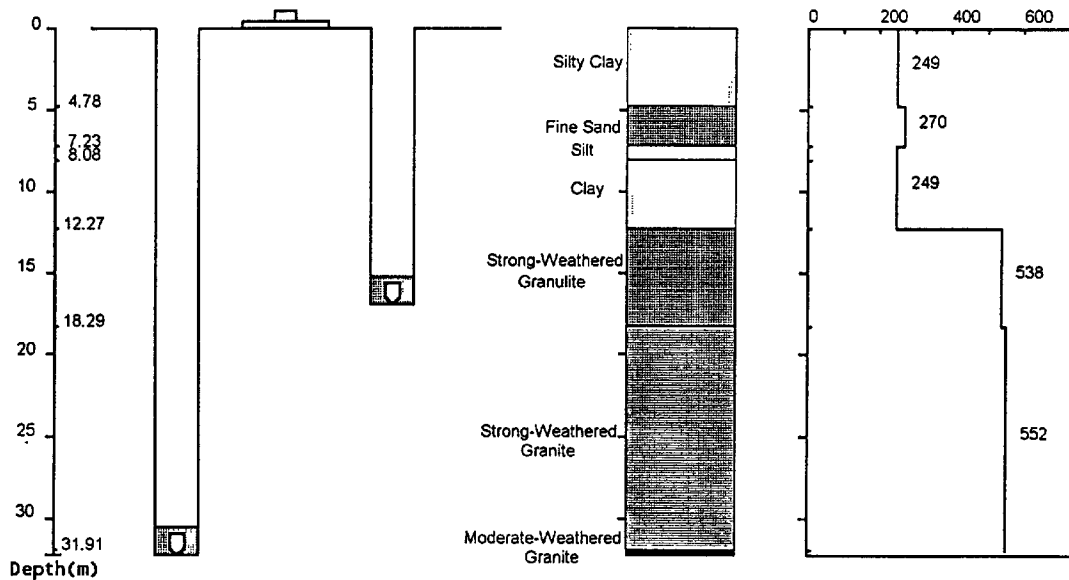


Fig. 6 Sensor location, geology and S-wave velocity structure in bore-hole

Table 2 Parameters for Observed Earthquakes and Events Recorded by Each Station

Date (yr/mo/d)	HHMMSS	M <sub>L</sub>	Lat.	Long.	Depth (km)	ZGZ	LEI	MZZ	SMN	FHS	EQM	CHE	XTS	DH0	DH1	DH2
92/05/15	14:28:44.3	3.7	39° 48'	118° 43'					*							
92/07/22	05:42:59.4	4.9	39° 21'	117° 53'	2		*									
92/09/22	05:29:07.5	2.4	39° 47'	118° 31'	5		*									
92/11/09	04:44:36.9	3.3	39° 42'	118° 17'			**									
93/02/04	00:55:51.9	3.6	39° 49'	118° 22'			*									
93/03/27	15:59:54.8	2.6	39° 44'	118° 24'	5		*									
93/03/28	07:52:44.4	2.7	39° 43'	118° 29'	10		*									
93/08/21	16:08:22.0	2.8	39° 43'	118° 43'					*							*
93/09/30	18:13:39.8	3.4	39° 41'	118° 26'	5		**		*							*
93/10/20	03:49:06.6	3.0	39° 40'	118° 12'	5		*									
93/10/23	09:22:03.5	2.6	39° 38'	118° 49'					*							*
93/10/23	16:29:19.1	2.7	39° 44'	118° 40'			*		*							*
93/11/02	19:33:47.3	2.8	39° 48'	118° 22'	14		*									
93/11/02	20:30:57.6	2.6	39° 40'	118° 23'	5		*									
93/11/08	22:40:19.7	2.7	39° 46'	118° 25'	5		*		*							
93/11/18	07:05:09.7	4.4	39° 36'	117° 27'	14		**		*							
94/02/11	09:50:33.3	2.0	39° 46'	118° 40'	5				*							
94/03/29	09:51:21.0	2.6	39° 44'	118° 40'	8				*							
94/04/15	03:30:13.4	3.4	39° 45'	118° 25'	8				*							
94/08/06	05:07:49.5	2.8	39° 43'	118° 40'					*							*

Table 2 Parameters for Observed Earthquakes and Events Recorded by Each Station (continued)

Date (yr/mo/d)	HHMMSS	M <sub>L</sub>	Lat.	Long.	Depth (km)												
					ZGZ	LEI	MZZ	SMN	FHS	EQM	CHE	XTS	DH0	DH1	DH2		
94/10/04	15:54:17.2	4.0	39° 44'	118° 26'	11	*							*	*	*	*	*
95/02/07	01:51:46.4	2.7	39° 42'	118° 35'		*	*							*	*	*	*
95/02/14	23:40:21.2	2.3	39° 51'	118° 48'			*										
95/02/22	19:53:01.8	3.9	39° 42'	118° 20'	11	**	*	*									
95/03/02	07:46:57.6	2.7	39° 49'	118° 34'			*							*	*	*	*
95/04/23	09:53:17.6	2.2	39° 41'	118° 22'	5	**											
95/06/12	00:13:10.9	3.2	39° 48'	118° 23'		*											
95/06/23	14:20:57.4	3.5	39° 46'	118° 24'		*	*										
95/06/27	22:46:18.6	3.0	39° 44'	118° 27'		*	*	*						*	*	*	*
95/07/02	15:19:39.4	2.9	39° 45'	118° 46'	13		*	*					*	*	*	*	*
95/07/05	19:20:48.5	2.3	39° 41'	118° 38'			*	*						*	*	*	*
95/08/31	19:27:47.6	2.4	39° 49'	118° 47'	13		*	*						*	*	*	*
95/09/13	16:15:49.3	2.2	39° 47'	118° 44'			*	*						*	*	*	*
95/09/19	23:48:03.1	2.9	39° 49'	118° 28'	10	**	*	*						*	*	*	*
95/10/06	06:26:57.1	5.9	39° 45'	118° 27'	10	**	*	*	*					*	*	*	*
95/10/06	07:51:50.4	3.0	39° 46'	118° 25'	13	**	*	*	*					*	*	*	*
95/12/31	00:08:53.7	3.0	39° 45'	118° 37'			*	*						*	*	*	*
96/01/10	22:50:48.1	2.6	39° 44'	118° 26'		*											
96/01/13	13:47:24.5	2.8	39° 45'	118° 20'		*											
96/03/24	20:51:53.9	3.0	39° 44'	118° 41'			*						*	*	*	*	*



Table 2 Parameters for Observed Earthquakes and Events Recorded by Each Station (continued)

Date (yr/mo/d)	HHMMSS	ML	Lat.	Long.	Depth (km)	ZGZ	LEI	MZZ	SMN	FHS	EQM	CHE	XTS	DH0	DH1	DH2
96/04/08	00:39:28.8	4.0	39° 51'	118° 44'		*		*					*	*	*	*
96/04/08	22:08:58.6	3.9	39° 45'	118° 26'	5	*		*					*	*	*	*
96/04/09	18:10:12.6	3.0	39° 36'	118° 41'				*					*	*	*	*
96/04/22	05:17:17.9	2.5	39° 46'	118° 43'				*					*	*		
96/11/12	09:25:53.8	2.6	39° 45'	118° 45'				*					*	*		
96/12/09	23:16:35.7	3.6	39° 30'	118° 06'				*		*			*	*		
96/12/12	15:04:03.7	3.3	39° 46'	118° 24'		*		*		*			*	*		
96/12/16	05:36:33.3	4.5	40° 10'	116° 30'	9	*		*		*			*	*		
96/12/23	16:46:49.6	3.5	39° 23'	118° 02'				*		*			*	*		
97/01/30	21:29:18.7	2.7	39° 45'	118° 22'	12	*										
97/02/04	21:45:01.4	2.5	39° 54'	118° 46'				*								
97/02/05	10:02:42.3	2.5	39° 45'	118° 25'		*										
97/02/06	15:07:41.2	3.3	39° 42'	118° 26'		*		*								
97/02/08	11:00:40.4	2.4	39° 45'	118° 25'		*										
97/02/10	21:17:12.2	3.2	39° 45'	118° 44'	15			*								
97/02/16	02:08:51.0	2.8	39° 49'	118° 45'				*								
97/02/16	06:03:13.1	2.5	39° 48'	118° 27'		*										
97/02/28	20:43:19.8	3.8	39° 16'	118° 43'		*		*		*			*	*	*	*

## 5. 解析と結果

### 5.1 表層地質の震動特性

ここでは、Xiangtang (XTD) のボアホール (DH0,1,2) で観測された地震記録と微動観測記録を用いて Xiangtang 地域に広がる沖積層の震動特性、特に共振周波数について検討する。使用した4個の地震はいずれも ZGZ 付近で発生したもので、ボアホールから西北西方向に震央を持っている。

また、微動は固有周期1秒の速度計3成分を用いてボアホールの地表面で観測された。Fig.7 にボアホールでの地震観測記録例を示す。この地震は  $M_s=5.7$  で、観測された地震の中で最大規模の地震でもある。図に示されているように S 波部分 (約5sec間) と CODA (コーダ) 部分 (20sec間) が解析された。Fig.8 に解析された微動観測記録の一部 (20秒間) を示す。

まず、地震記録の S 波部分 5 秒間と微動記録約

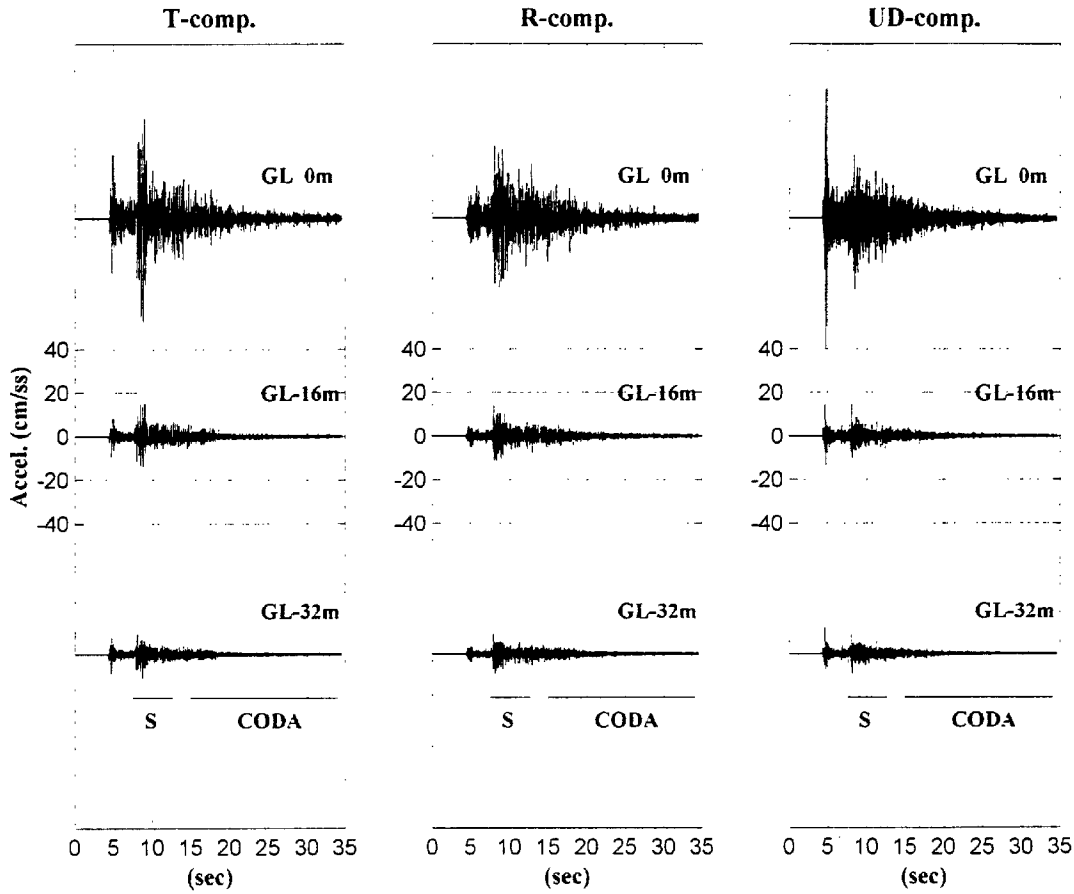


Fig. 7 Example of seismograms observed in bore-hole

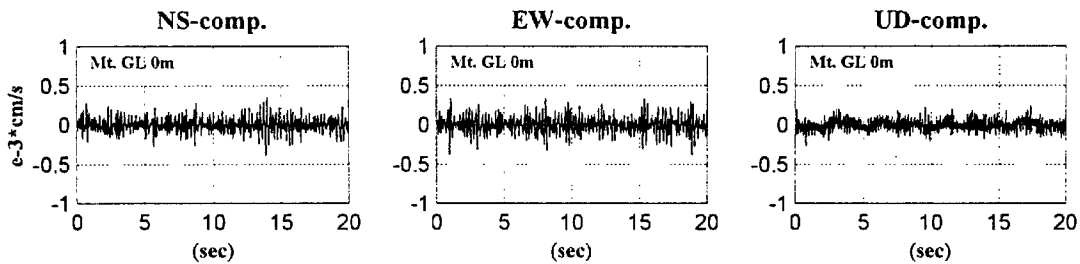


Fig. 8 Observed microtremors

40秒間の振幅スペクトルを調べた。Fig.9に1Hzから10Hzまでの全振幅スペクトルを示す。図中4個の地震のうち規模の小さいNo.1(95/06/23 14:21 M=3.5)とNo.2(95/06/27 22:46 M=3.0)では明瞭ではないが、規模の大きいNo.4(95/10/06 06:26 M=5.7)とNo.3(94/10/04 15:54 M=4.0)ではT(トランスバース)成分とR(ラジアル)成分において、GL-32m, GL-16m, GL 0mへと地表面に近づくにしたがって4Hzあたりにスペクトルのピークを形成してゆく様子が見える。

一方、微動のスペクトルにおいても、T成分及びR成分に4~5Hzにピークが見られる。

次に、上で求めたフーリエ振幅を用いてH/Vスペクトル比(T成分/UD成分, R成分/UD成分)を検討した。Fig.10にH/Vスペクトル比を示す。地震のGL-32mでは、2Hzすぎあたりと6~7Hz付近にピークが見られる。同じく、GL-16mでは4Hzに、また、GL 0mでは明瞭ではないが4Hzあたりにピークが見える。一方、微動でも4Hz付近にピークが見られる。

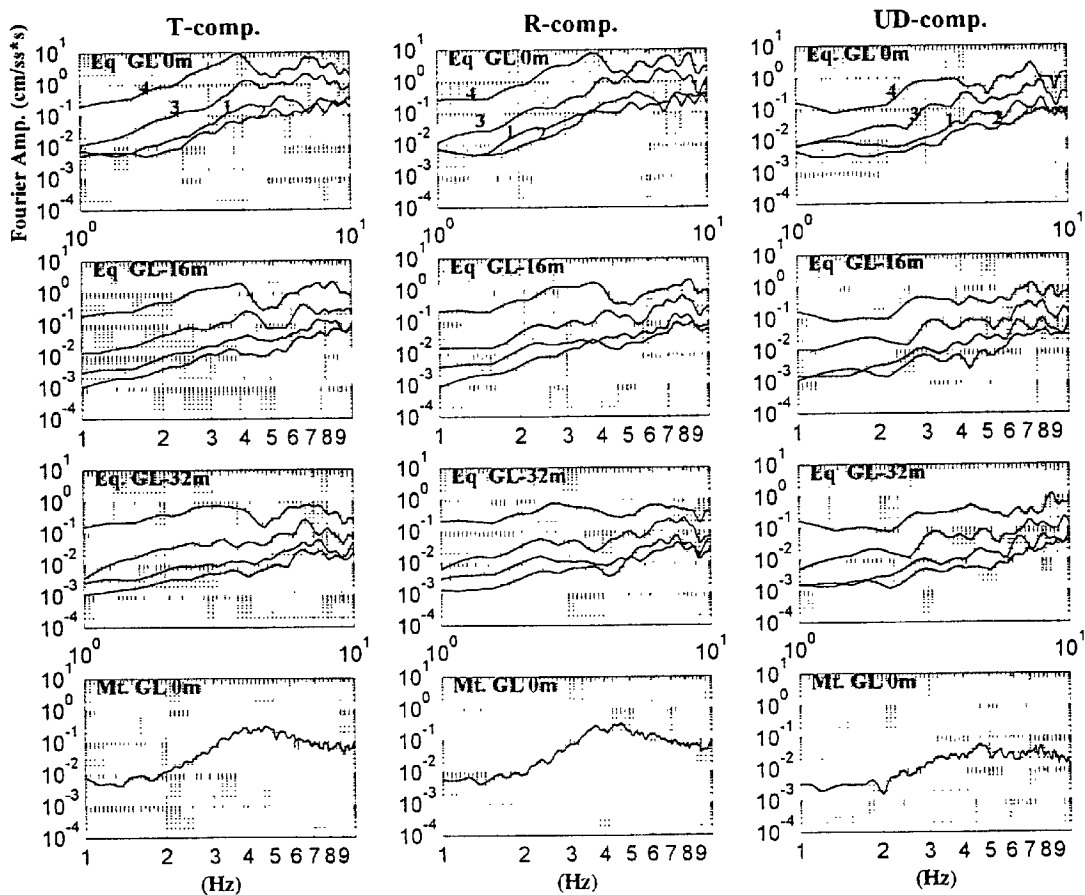


Fig. 9 Amplitude spectra of earthquakes observed in bore-hole and microtremors at surface

次に、上と同じく地震のフーリエ振幅を用いて各成分毎に、スペクトル比 (GL 0m) / (GL-16m) , (GL 0m/GL-32m) を検討した。Fig.11 にそれらを示す。(GL 0m) / (GL-16m) はT成分, R成分ともに、5 Hz すぎあたりにも明瞭なピークを持つ。また、(GL 0m) / (GL-32m) はT成分, R成分ともに、4 Hz 付近と 9 Hz 付近にも明瞭なピークを持つ。

上述のように、ここでは共振周波数に焦点をあてて検討した。地震波及び微動両者のスペクトル解析から Xiangtang 地域の表層地盤は 4 Hz 付近に共振周波数を持つと考えられる。

本報告では表層地盤による地震動の増幅率については検討しなかったが、ボアホール近くの岩盤露頭観測点 XTS での観測記録の蓄積を待つて解析を行う予定である。

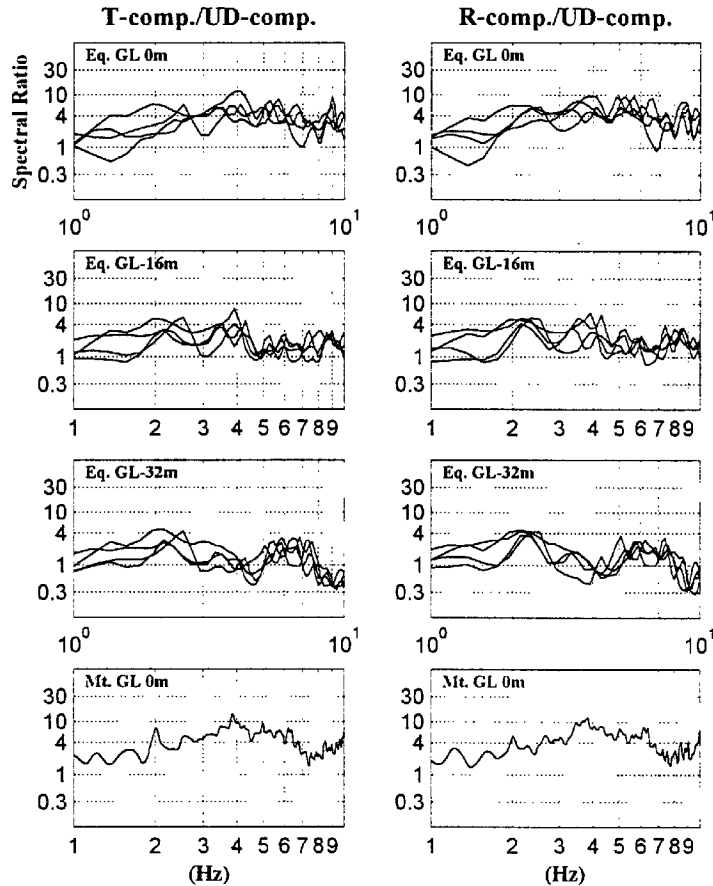


Fig. 10 H/V spectral ratios of earthquakes observed in bore-hole and microtremors at surface

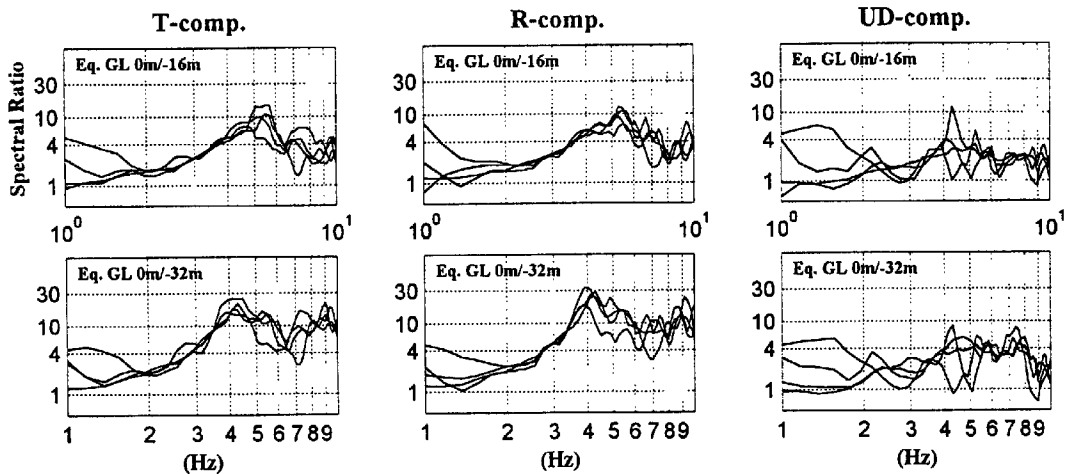


Fig. 11 Spectral ratios of surface motion to underground one for observed earthquakes

## 5.2 ボアホールにおけるコーダ $Q_c$

サイト特性を評価するのにコーダ波を利用する手法が用いられている (Phillips and Aki(1986), Mayeda et al.(1991), Fehler et al.(1992), Chin and Aki(1991), Kato et al.(1995), Su and Aki(1995), Luis Fabian Bonilla et al. (1997) )。ここでは、今後唐山地域でコーダ波を用いてサイト特性を評価するための予備的解析として、ボアホール内の地表面と地下でのコーダ  $Q_c$  を比較することにより表層地盤のコーダへの影響を検討した。

Fig.12 に各周波数帯におけるコーダ波の時間経

過に伴う減衰の様子を示す。Fig.13 に2~16 Hz において求めた  $1/Q_c$  値を示す。各成分ともに各周波数帯において、GL0m, GL-16m, GL-32m 間で  $1/Q_c$  値に顕著な違いはないが、系統的に GL0m, GL-16m, GL-32m へと地下深くなるにしたがい  $1/Q_c$  値が小さくなっている。最近のコーダ波を用いた直達S波の  $Q$  の吸収減衰と散乱減衰への分離の研究 (Hoshiya(1993), Edoardo Del Pezzo et al. (1995)) によれば、コーダ  $Q_c$  は吸収減衰に近い値をとる。このことから、地表面の  $1/Q_c$  値は表層地盤の影響を受けて吸収減衰をうけるため地下の  $1/Q_c$  値より大きくなっているものと解釈できる。

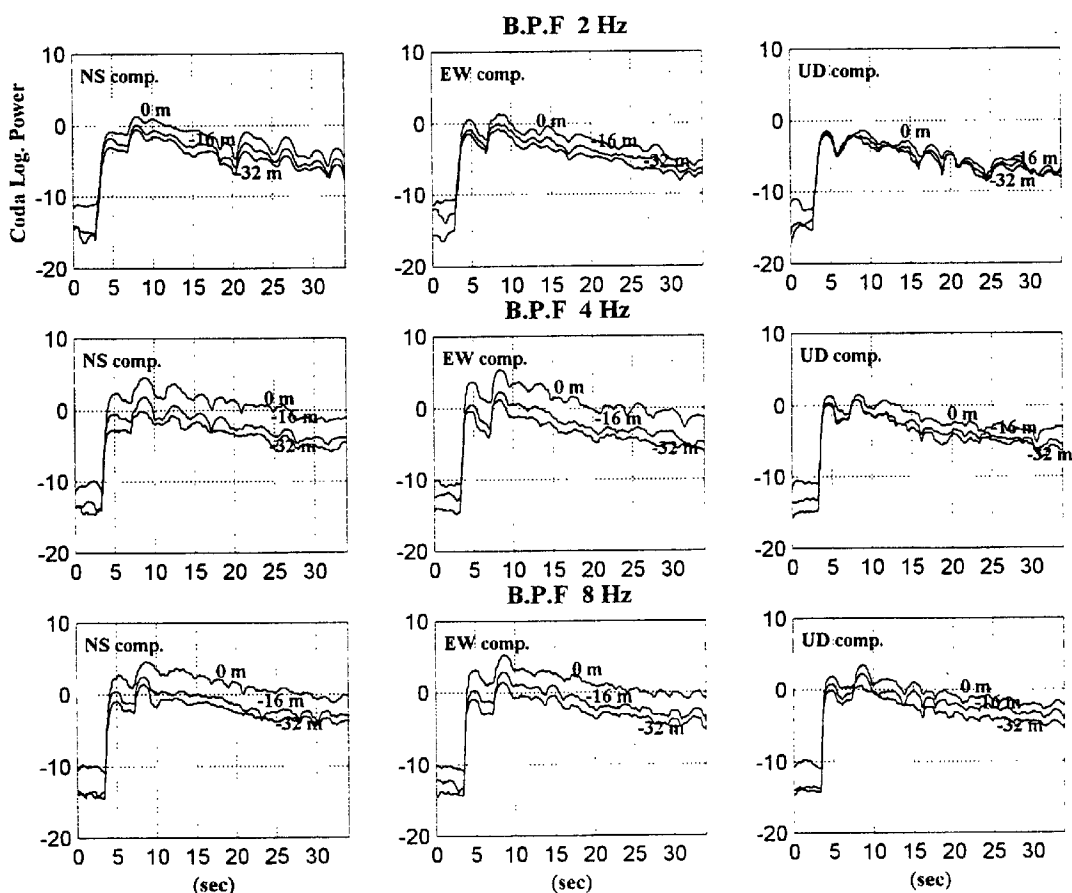


Fig. 12 Coda power attenuation with lapse time for earthquakes observed in bore-hole

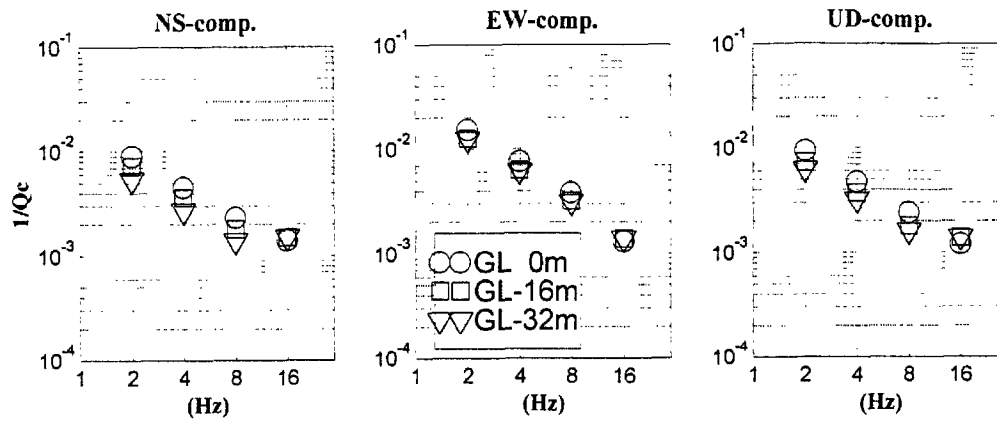


Fig. 13  $Q_c^{-1}$  values at surface, -16m and -32m points in bore-hole

## 6. おわりに

中国唐山の Xiangtang のボアホールで観測された地震記録及び微動記録の解析を行い、次の結果を得た。

(1) 表層地盤の震動特性として、共振周波数に焦点をあてて検討した結果、地震波及び微動両者のスペクトル解析から Xiangtang 地域の表層地盤は 4 Hz 付近に共振周波数を持つと考えられる。

(2) ボアホール内の地表面と地下でのコーダ  $Q$  ( $Q_c$ ) を比較することにより表層地盤のコーダへの影響を検討した結果、GL-0m, GL-16m, GL-32m 間で  $1/Q_c$  値に顕著な違いはないが、系統的に GL-0m, GL-16m, GL-32m へと地下深くなるにしたがい  $1/Q_c$  値は小さくなるように見える。これは、地表面の  $1/Q_c$  値が表層地盤の影響（吸収減衰）を受けているためと考えられる。

## 謝辞

本稿を終えるにあたり、当研究事業に携わる機会を与えて頂きました防災研究所地震災害研究部門入倉孝次郎教授に深く感謝の意を表します。中国側共同研究機関である国家地震局工程力学研究所の Xie Li-li 教授, Zhou Yongnian 教授, Li Shabai 教授, Jin Xing 教授には現地での観測及び調査研究活動を遂行するにあたり多大な協力・便宜をはかっていただきました。ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

壇一男・他(1991): 1976年中国唐山地震の震源域に

おける構造物の挙動に関する研究——その1. 強震地動の推定, 清水建設株式会社, ORI 研究報告, 91-04.

Chin, B. H. and Aki, K. (1991): Simultaneous determination of source, path, and recording site effects on strong ground motion during the Loma Prieta earthquake: a preliminary result on pervasive nonlinear site effect, BSSA, Vol.81, pp. 1859-1884.

Edoardo Del Pezzo, et al. (1995): Measurements of intrinsic and scattering seismic attenuation in the crust, BSSA, Vol.85, No.5, pp. 1373-1380.

Fehler, M. et al. (1992): Separation of scattering and intrinsic attenuation for the Kanto-Tokai region, Japan, using measurements of S-wave energy vs. Hypocentral distance, Geophys. J. Int., Vol.108, pp. 787-800.

Hao, Xian-sheng et al.(1994): Low damage anomaly of the 1976 Tangshan earthquake: an analysis based on the Explosion ground motions, BSSA, Vol.84, No.4, pp. 1018-1027.

Hoshiya, M.(1993):Separation of scattering attenuation and intrinsic absorption in Japan using the multiple lapse time window analysis of full seismogram envelope, J. Geophysical Res., Vol.98, No.B9, pp. 15809-15824.

Ishikawa, Y. et al.(1983): On some characteristics of strong aftershocks of the 1976 Tangshan, 1975 Haicheng and 1976 Yanyuan—Ninglang earthquakes, Acta

- Seismologica Sinica, Vol.5, No.1, pp.15-30(in Chinese).
- John, Nabelek et al. (1987): The Tangshan earthquake sequence and its implications for the evolution of the north China Basin, *J. Geophys. Res.*, Vol.92, No.B12, pp. 12615-12628.
- Kato, K. et al. (1995): Site amplification from coda waves: validation and application to S-wave site response, *BSSA*, Vol.85, pp. 467-477.
- Kikuchi, M. and Kanamori, H.(1986): Inversion of complex body waves—II, *Phys. Earth and Planetary Interiors*, Vol.5, No.1, pp. 205-222.
- Luis Fabian Bonilla et al. (1997): Site amplification in the San Fernando valley, California: variability of Site-effect estimation using the S-wave, coda, and H/V methods, *BSSA*, Vol.87, No.3, pp. 710-730.
- Mayeda, K. et al.(1991): Site amplifications from S-wave coda and S-wave spectral ratio estimates of site response in the southern San Francisco Bay area, *BSSA*, Vol.81, pp. 2194-2213.
- Phillips, W. and Aki, K.(1986): Site amplification of coda waves from local earthquakes in central California, *BSSA*, Vol.76, pp. 627-648.
- Rhett Butler et al. (1979): The July 27, 1976 Tangshan, China earthquake --- a complex sequence of intraplate events, *BSSA*, Vol.69, No.1, pp. 207-220.
- State Seismological Bureau, China(1982): The 1976 Tangshan earthquake, *Earthquake Press*(in Chinese).
- Su, F. and Aki, K.(1995): Site amplification factors in central and southern California determined from coda waves, *BSSA*, Vol.85, pp. 452-466.
- Yuan, S. et al.(1986): Strong ground motion simulation of the 1976 Ninghe, China earthquake, *Bull. ERI, Univ. Tokyo*, Vol.61, pp.97-127.
- Zhang, Z. et al.(1980): The fracture processes of the Tangshan earthquake and its mechanical analysis, *Acta Seismologica Sinica*, Vol.2, No.2, pp.111-129(inChinese).

**Japan-China Joint Research of  
Strong Ground Motion Prediction and Earthquake Disaster Mitigation  
----Strong Ground Motion Observation in Tangshan, China----**

Koji MATSUNAMI and Zhan Wenbo\*

\*Institute of Engineering Mechanics, State Seismological Bureau, China

**Synopsis**

We deployed a seismic observation network for strong ground motions in Tangshan, China, to do basic researches for the prediction of strong ground motions. The network consists of eight observation stations and one bore-hole observation system. We observed 60 events for the magnitude range of 2.2 to 5.7. From the earthquake and microtremor observations, we found that a resonant frequency of surface sedimentary layer in Tangshan is about 4 Hz. We also found from the bore-hole observation that coda  $Q_c^{-1}$  values observed at underground points are small compared with those at surface.

**Keywords:** strong ground motion; seismic waves; surface geology; seismic observation