
千葉第 6 高炉の地震応答解析

Earthquake Response Analysis of No.6 Blast Furnace of Chiba Works

石田 昌弘(Masahiro Ishida) 原 道彦(Michihiko Hara) 西山 領(Satoru Nishiyama) 城 郁夫(Ikuo Jo)

要旨：

昭和 55 年 9 月 24 日早朝に続き、25 日未明にも首都圏を直下型のマグニチュード M6 級の地震が見舞った。本報告は千葉製鉄所第 6 高炉およびその周辺の軟弱地盤で実施中の地震観測からえられた地震応答記録から、とくに高炉基礎という重量基礎構造物の耐震工学上の特質を明確化し、耐震設計上の資料たらしめようとしたものである。得られた成果はつぎのとおりです。(1) 本構造物の固有周期を考慮すれば、直下型地震よりも遠距離型地震に対して共振しやすいと言えるが、直下型地震の鉛直成分が構造物の応答に大きく影響するのでこの方面の研究が急がれる。(2) 応答が速度から換算した層せん弾力係数は、基礎構造については設計層せん断力係数と同程度であるが、上部工については危険側の値を示す。(3) 地震観測以来最大規模の遠距離型地震の 11 倍弱、直下型地震の 2 倍弱の基盤加速度が発生すれば最大層設計せん断力係数を超えることになる。

Synopsis：

Earthquake measurements have been taken since 1977 in order to investigate the dynamic behavior of No.6 blast furnace and its surrounding soft ground at Chiba Works. Two severe earthquakes of the so-called "directly under" type, hit the Kanto districts on September 24 and 25, 1980, registering Richter magnitudes of 6.0 and 6.1, respectively. Their epicenters were located near Chiba Works, and maximum response acceleration at the super-and sub-structures of No.6 blast furnace and its surrounding soft ground is the largest of all the earthquakes ever observed. In this report, the results of earthquake observations are discussed in comparison with those of theoretical approaches, namely, analytical simulations using lumped mass idealization. The following conclusions may be drawn from the observation and analysis of actual earthquakes. (1) Judging from the response spectrum, the structure is more liable to resonate with the so-called "long-distance" type earthquake than with the "directly under" type, and yet in the latter type earthquake, the structure is strongly affected by the vertical motion of the earthquake. Further study in this aspect is required to be expedited. (2) Story shear coefficient at the sub-structure calculated from response acceleration of actual earthquakes approximate to the design values, but those at the

super-structure exceed them. (3) It is predicted that if earthquakes occur that have substratum acceleration a little less than eleven times that in the biggest "directly under" type earthquake (June12,1978), or twice that in the biggest "long-distance" type (Sept.24,1980), the story shear coefficient at the tip story will exceed the design value.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

千葉第6高炉の地震応答解析

Earthquake Response Analysis of No. 6 Blast Furnace of Chiba Works

石田 昌弘*

Masahiro Ishida

原 道彦**

Michihiko Hara

西山 領***

Satoru Nishiyama

城 郁夫****

Ikuo Jo

Synopsis:

Earthquake measurements have been taken since 1977 in order to investigate the dynamic behavior of No. 6 blast furnace and its surrounding soft ground at Chiba Works.

Two severe earthquakes of the so-called "directly under" type, hit the Kanto districts on September 24 and 25, 1980, registering Richter magnitudes of 6.0 and 6.1, respectively. Their epicenters were located near Chiba Works, and maximum response acceleration at the super- and sub-structures of No. 6 blast furnace and its surrounding soft ground is the largest of all the earthquakes ever observed.

In this report, the results of earthquake observations are discussed in comparison with those of theoretical approaches, namely, analytical simulations using lumped mass idealization.

The following conclusions may be drawn from the observation and analysis of actual earthquakes.

- (1) Judging from the response spectrum, the structure is more liable to resonate with the so-called "long-distance" type earthquake than with the "directly under" type, and yet in the latter type earthquake, the structure is strongly affected by the vertical motion of the earthquake. Further study in this aspect is required to be expedited.
- (2) Story shear coefficient at the sub-structure calculated from response acceleration of actual earthquakes approximate to the design values, but those at the super-structure exceed them.
- (3) It is predicted that if earthquakes occur that have substratum acceleration a little less than eleven times that in the biggest "directly under" type earthquake (June 12, 1978), or twice that in the biggest "long-distance" type (Sept. 24, 1980), the story shear coefficient at the top story will exceed the design value.

1. 緒 言

昭和55年9月24日早朝に続き、25日未明にも、首都圏を直下型のマグニチュードM6級の地震が見舞った。関東地方を襲う地震の発生メカニズムについては、①相模トラフ上の巨大地震、②東京およびその周辺の浅い地盤で発生する直下型地震、

の二種がある。直下型地震は、プレートのもぐり込みに伴うタイプと、活断層の破壊に伴う揺れの二タイプと考えられている。今回の地震の原因は後者が有力視され、“地震の巣”である同地域の地震活動が、また再発を始めた恐れが強い。

本報告は、千葉製鉄所第6高炉およびその周辺の軟弱地盤で実施中の地震観測から得られた地震応答記録から、とくに高炉基礎という重量基礎構

* エンジニアリング事業部構造技術研究所構造研究室
主任研究員(掛長待遇)
*** 千葉製鉄所土建部部长
〔昭和55年12月18日原稿受付〕

** エンジニアリング事業部構造技術研究所構造研究室
主任研究員(課長待遇)
**** エンジニアリング事業部土木技術部(千葉駐在)
主査(掛長待遇)

造物の、耐震工学からみた特質を明らかにするとともに、耐震設計上の資料たらしめようとしたものである。

2. 地震観測地点および解析フロー

地震応答解析においては、入力波として、エルセントロ地震など地上で観測された強震記録波形を重複反射理論で基盤波に変換したものが用いられているが、これはあくまでも耐震設計の次善の策であって、直接に地震観測した波形を入力するのが最良の手段である。千葉製鉄所第6高炉周辺の軟弱地盤層の動的変形特性を把握しようという意図で、地表面（深度0.4m）、深度8m、25mおよび50mの4深度に、圧電型地震計をそれぞれ設置した。さらに、第6高炉基礎およびその上部構造に、合計14個のサーボ型地震計を設置した。これらの配置位置を、Fig. 1に示す。

Fig. 2に観測装置の概要を示す。図中の左側に計器系統図を、右側にデータ回収後の解析フローチャートを示した。

各地震計からは、常時、増幅装置・遅延装置を通してデータレコーダーに信号が送られており、この信号は、同時に始動装置にも送られている。地震発生により、設定値以上の速度あるいは加速

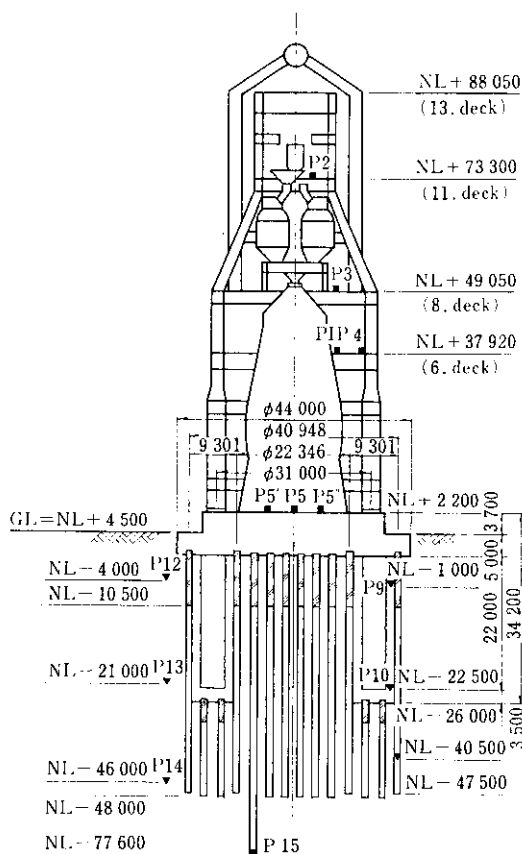


Fig. 1 Location of seismometers at No.6 blast furnace of Chiba Works

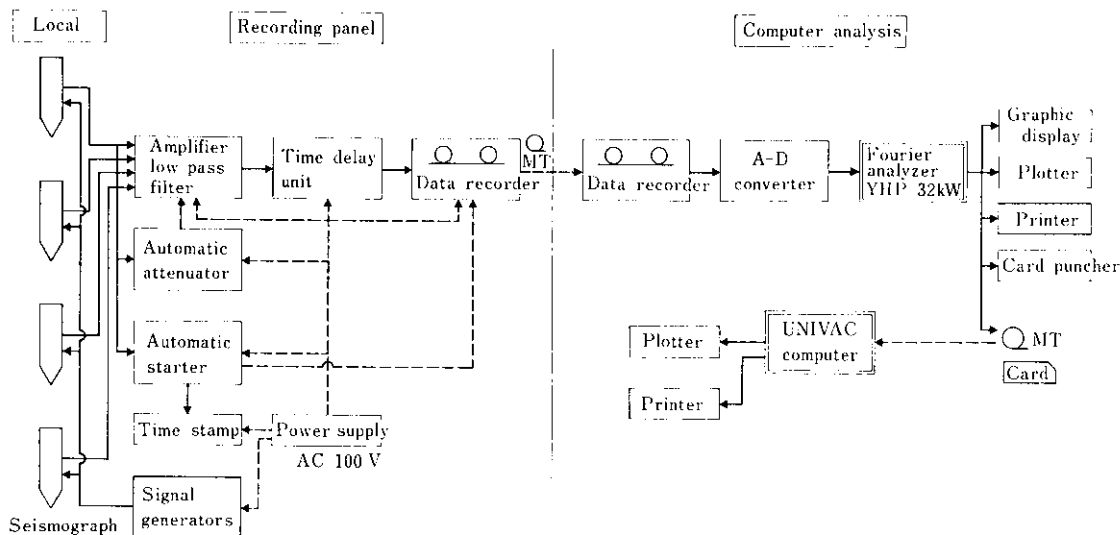


Fig. 2 Earthquake measurement system and analysis flow chart

度を始動装置が感知すると、データレコーダーを動作させ、始動時刻を印字させる。遅延装置は地震動の初期部分の記録を見逃さないよう、遅延時間3 sのものを備えている。前述した経路により、磁気テープ上にアナログデータとして収録された地震記録は、A-D変換機能を備えたミニコンピュータにより数値データに変換されたのち、磁気テープあるいはディスクに格納され、種々の解析の基礎データとして使用する。

3. 地震観測結果

Table 1に、9月24日および25日に発生した直下型地震の概要を示す。なお、25日の地震については、午前2時54分頃の本震ののち、2時間にわたり余震が4回断続的に起こったが、これらについては割愛する。また、同表には1978年6月12日に発生した遠距離型地震についての概要をも記した。

Fig. 3に今回の地震の震源地を示すが、24日の茨城県から25日の千葉県へと南下し、両地点を結ぶ直線上に千葉製鉄所が位置することから、今回の現象が「偶然の現象」とはいえ警戒が必要である。

さて、今回の地震観測結果についてであるが、地震動加速度の一例をFig. 4およびFig. 5に示し、地盤の最大加速度をTable 2に一括表示する。なお本表には、1978年6月12日の宮城県沖地震の最大加速度も示した。またFig. 6に、Table 2の地

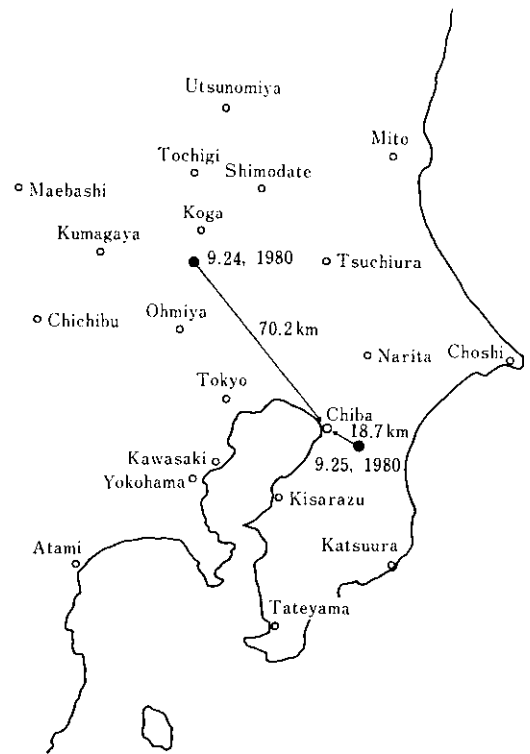


Fig. 3 Hypocenter location

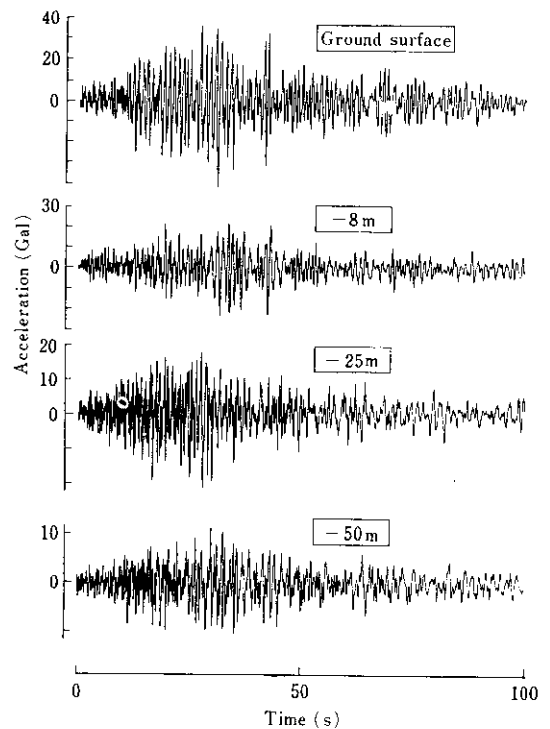


Fig. 4 Acceleration records (June 12, 1978)

Table 1 List of observed earthquakes

Date	June 12, 1978	Sept. 24, 1980	Sept. 25, 1980
Time	17:14	04:10	02:54
Hypocenter location	Off Miyagi Pref.	South-western part of Ibaragi Pref.	Central part of Chiba Pref.
Latitude	38°09'	36°06'	35°30'
Longitude	142°10'	139°42'	140°12'
Depth	40km	60km	70km
Magnitude	7.4	6.0	6.1
Epicentral distance	345km	70.2km	18.7km
Seismic intensity	IV	III	IV

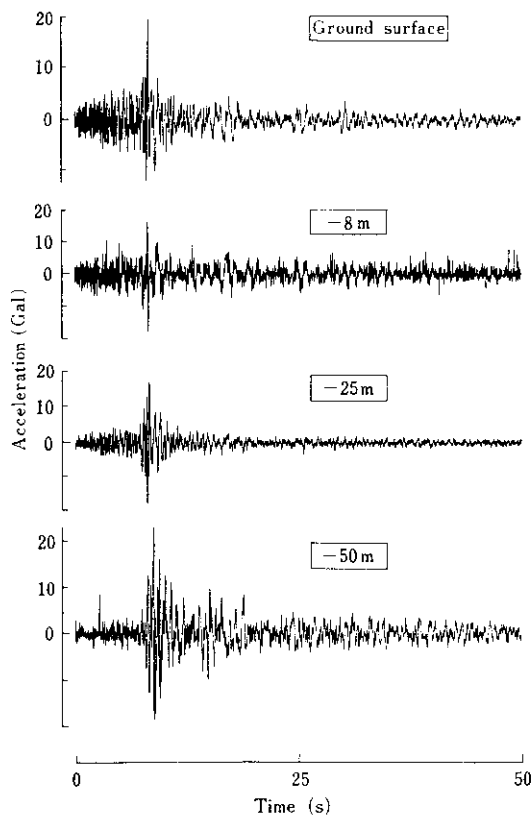


Fig. 5 Acceleration records (Sept. 25, 1980)

中部における最大加速度を図示した。同図の左側は、遠距離型地震である宮城県沖地震の、また右側は直下型地震である千葉県中央部地震の、深さ方向の最大加速度分布を示したものである。これ

Table 2 Maximum acceleration of observed earthquakes (Ground)

Location	Component	Response Max. Acc. (Gal)	
		June 12, 1978	Sept. 25, 1980
Ground surface	H_{x-x}	41.5	20.0
	H_{y-y}	28.0	19.0
	Z	16.0	21.0
-8m	H_{x-x}	24.0	18.0
	H_{y-y}	28.3	15.0
	Z	7.9	20.0
-25m	H_{x-x}	20.6	18.0
	H_{y-y}	17.0	20.0
	Z	9.8	16.5
-50m	H_{x-x}	11.4	23.0
	H_{y-y}	13.4	35.0
	Z	7.8	9.5

ら二つの地震は、気象庁の発表では、千葉県でどちらも震度Ⅳとされているが、Fig. 6の地中加速度分布には大きな差違が認められる。現在までに観測された遠距離型地震¹⁾においては、水平方向の最大加速度分布は深さ方向に減少し、鉛直方向のそれはほぼ一定値か、わずかに減少傾向を示しているのに対し、今回のような直下型地震においては、水平方向加速度が、地盤表面を除き、深さ方向に増加傾向を示し、鉛直方向のそれは、深さ方向に減少傾向を示した。今回のような地震観測

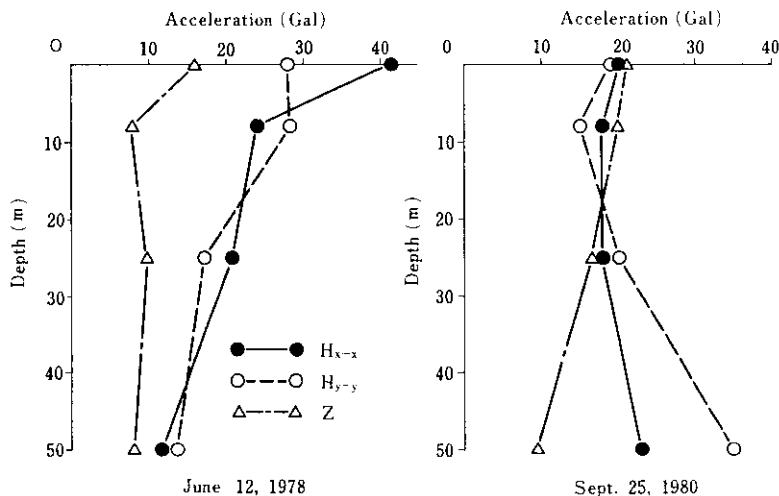


Fig. 6 Vertical distribution of maximum acceleration

は、前述したように、震央距離が極めて近く、震源深さが浅いという、極めてまれな例であり、類似地震観測データもほとんどないため、上述の現象の一般化として評価できない。アルジェリアのエルアスナムやメキシコ等で最近伝えられる直下型地震の被害状況から、鉛直加速度が耐震設計上無視できないことを、この地震は教訓として与えてくれた。このことから、今回の地震動記録は貴重なデータと考えられる。

4. 観測結果の解析

磁気テープにおさめられた信号の再生記録は、81.92Hzおよび40.96Hzのサンプリングで、初期微動から50 s までおよび100 s までのデータを A-D 変換したのち、フーリエ・アナライザーにより、パワースペクトル、相関関数および応答スペクトルを計算した。

4.1 観測記録の振動数特性

Fig. 7 および Fig. 8 に、遠距離型地震 (June 12, 1978) および直下型地震 (Sept. 25, 1980) について、地盤加速度水平成分 (N-S) のパワースペクトルを示す。Fig. 7 から、地表面および-8 m ではかなりまとまった振動数帯域の波が存在し、-25 m および-50 m では地震波振動数が広帯域に及ぶことがわかる。すなわち、地表面および-8 m においては0.84~0.98Hzの波が卓越し、-25 m および-50 m では0.41~1.98Hzの振動数帯域まで広がる。この傾向は、過去の中・小規模遠距離型地震のスペクトル特性と極めて類似した傾向を示し、地表面および-8 m の地盤では-25 m 以下の地盤で見られる長周期成分の波が消滅している。これらのパワースペクトルと、別に行った常時微動測定結果から、この地点での地盤の卓越振動数は0.85~0.95Hz程度と推定される。

一方、Fig. 8 の直下型地震については、震源距離が極めて近いとパワースペクトルが高周波領域まで及ぶという既知の事実と一致しているが、地表面において3Hz前後にピーク値を有することは注目される。これは、地盤の高次モードの影響を受けたものと考えられる。しかしながら、本地震においても、地表面以下-50 m までのいずれの地

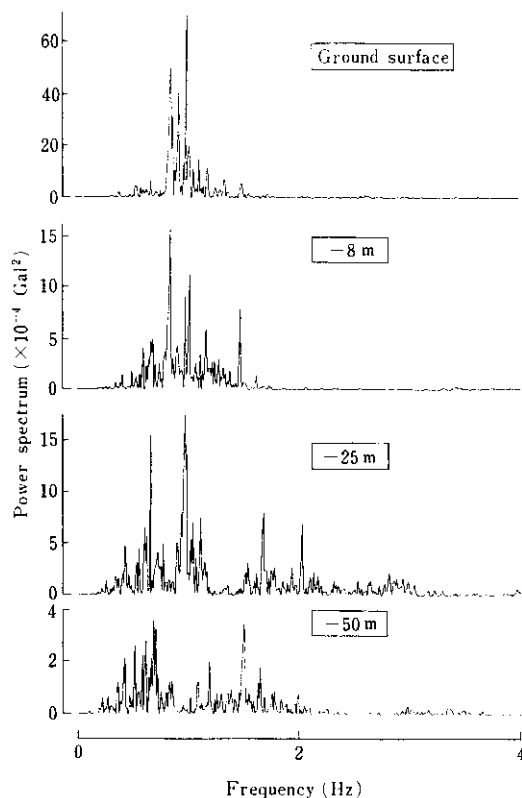


Fig. 7 Power spectrum (June 12, 1978)

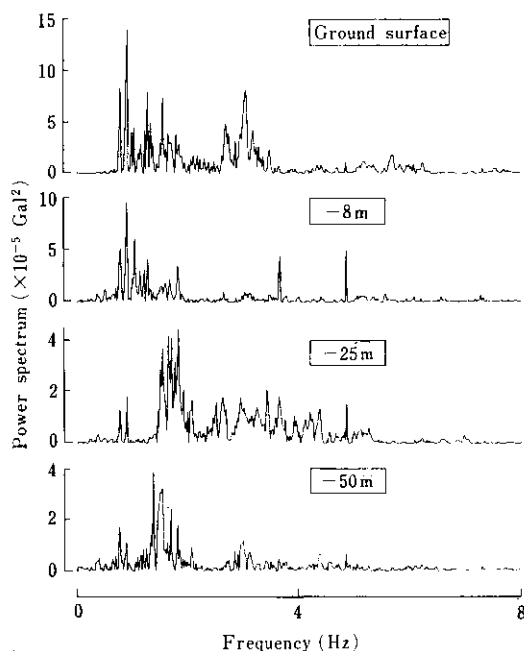


Fig. 8 Power spectrum (Sept. 25, 1980)

点でも $0.85 \sim 0.95 \text{ Hz}$ 付近にピーク値を有することから、そのピークが前述した地盤の卓越振動数であると考えられる。

4-2 観測結果の波形分析

観測された加速度記録の水平成分 (N-S) の自己相関関数を計算し、波形分析を行った。

Fig. 9 に遠距離型地震の自己相関関数を示す。

地下 -25 m では比較的周期成分が多いにもかかわらず、それよりも 17 m 上の -8 m 地点ではややランダムな波動が多くなっている。すなわち、本例では、地下 50 m の深い場所でランダムな波が観測され、軟弱地盤中を伝播する過程で、 -25 m では周期化され、 -8 m で再びランダム波が多くなり、最後に地表面では再度周期化されていることがわかる。

一方、直下型地震の自己相関関数を示した Fig. 10 では、 -50 m から -8 m の波の伝播過程は上述した遠距離型地震の場合と比較的類似形態をとるが、伝播の最終段階である地表面では波が周期化されず、ランダム波が多くなっている。本特性は、遠距離型地震に比較して直下型地震の方が、地盤の高次モードの影響を受けやすいことを示唆している。

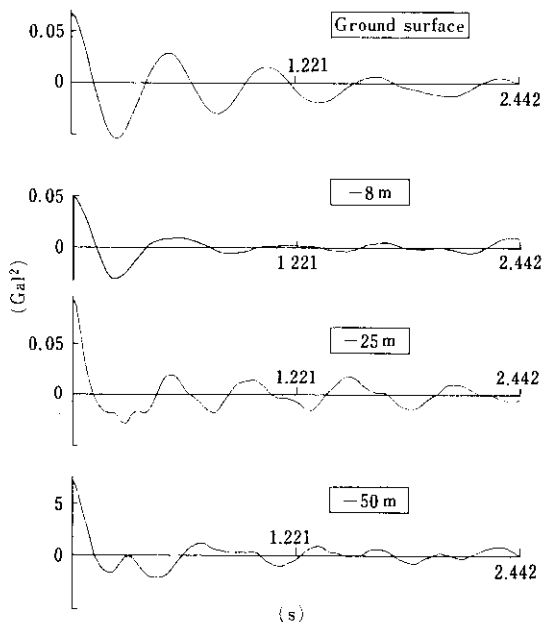


Fig. 9 Auto correlation functions (June 12, 1978)

つぎに、地盤中の深さ方向に異なる 2 点での観測結果から両者の相互相関関数を計算して Fig. 11 に示す。図中の v_s の値は、相関図の最初のピークに対する遅延時間が 2 点間を波動が伝播する時間と考えられるので、この時間を読み取って 2 点間の距離を除いたものである。したがって、これらの値は 2 点間の S 波の平均伝播速度であると考え

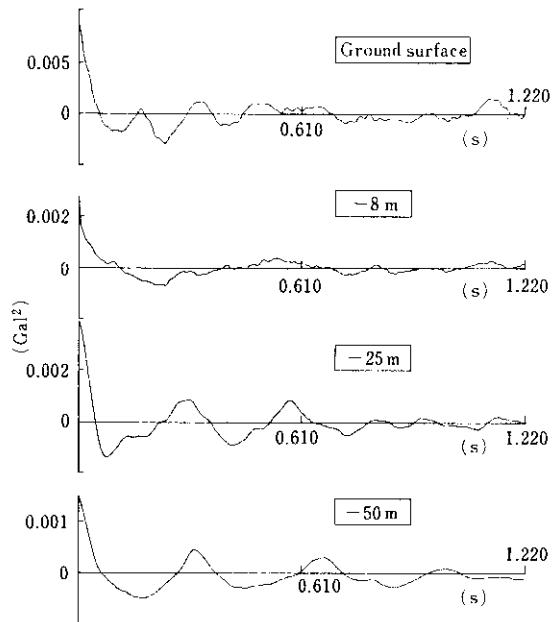


Fig. 10 Auto correlation functions (Sept. 25, 1980)

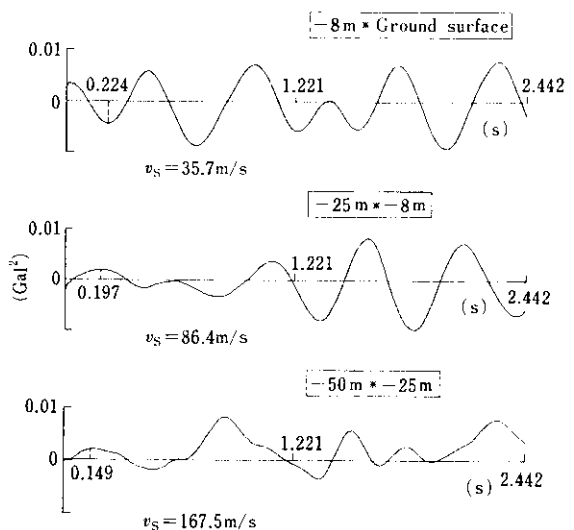


Fig. 11 Cross correlation functions (June 12, 1978)

てよく、本地盤は全般的に極めて軟弱な地盤であることがわかる。これは地盤改良工事を行ったときのPS検層結果²⁾から得られたS波速度と、ほぼ同傾向である。

4.3 加速度記録による応答スペクトル

遠距離型地震および直下型地震のもつ特性を構造物の応答の面から調べるために、観測によって得られた加速度記録の地表面加速度水平成分(N-S)を用いて、1自由度系の加速度および速度応答スペクトルを、次式により求めた。

$$S_a = \omega_d \left| \int_0^t \ddot{y}(\tau) e^{-h\omega_d(t-\tau)} \left\{ \left(1 - \frac{h^2}{1-h^2}\right) \times \sin \omega_d(t-\tau) + \frac{2h}{\sqrt{1-h^2}} \cos \omega_d(t-\tau) \right\} \times d\tau \right|_{\max.} \quad (1)$$

$$S_v = \left| \int_0^t \ddot{y}(\tau) e^{-h\omega_d(t-\tau)} \left\{ \cos \omega_d(t-\tau) - \frac{h}{\sqrt{1-h^2}} \sin \omega_d(t-\tau) \right\} d\tau \right|_{\max.} \quad (2)$$

ここに、 S_a ：加速度応答スペクトル

S_v ：速度応答スペクトル

ω_d ：構造物の固有角振動数

h ：減衰定数

$\ddot{y}$ ：加速度時刻歴

t ：時刻

τ ：遅延時間

Fig. 12およびFig. 13は、それぞれ遠距離型地震についての加速度応答および速度応答スペクトルを示し、Fig. 14およびFig. 15は、直下型地震についてのものをそれぞれ表わす。これらの図の縦軸は加速度応答スペクトルについては入力とした地震記録の最大加速度 $\ddot{y}(\tau)$ で1自由度系に生ずる最大応答加速度 S_a を除いた無次元量 $S_a/\ddot{y}(\tau)$ を、速度応答スペクトルについては1自由度系の応答速度の最大値を示す。横軸はその非減衰固有周期、パラメーターは減衰定数である。

Fig. 12およびFig. 14の加速度応答スペクトル図から、それぞれのピーク値を示す非減衰固有周期は0.9sおよび0.2sである。さらに、前者のスペ

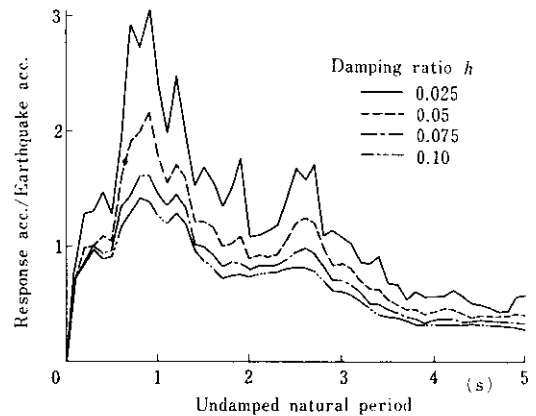


Fig. 12 Acceleration response spectra (June 12, 1978)

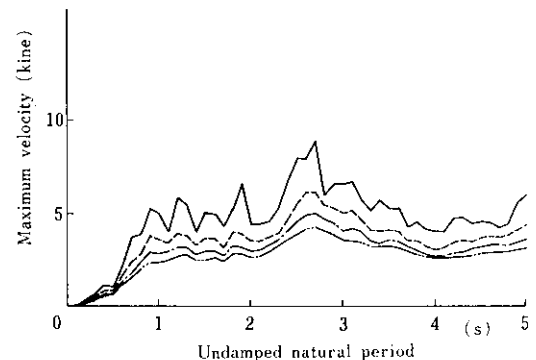


Fig. 13 Velocity response spectra (June 12, 1978)

クトルは、構造物の非減衰固有周期が3s程度まである大きさを保ち、それ以上の長周期でゆるやかに減衰しているのに対し、後者のそれは、固有周期が1s以上となれば急激に減衰していく。このことは、遠距離型地震に対しては比較的長周期の構造物、直下型地震に対しては短周期の構造物が大きな影響を受けやすいことを示唆している。すなわち、第6高炉構造物の応答面からいえば、高炉上部工および基礎を含む構造系の固有周期が1.1sであることを考慮すれば、直下型地震に対するよりも遠距離型地震に対して、本構造物は共振しやすいといえる。しかしながら、これらの議論は入力加速度の水平成分のみについてのものであり、前述したように、直下型地震における鉛直成分が本構造物に大きく影響していると考えられるので、高炉の自重による回転モーメント、高炉基礎の重心位置等についても検討が必要である。

Fig. 13およびFig. 15の速度応答スペクトルも上述の加速度応答スペクトルと同様の特性を示し、

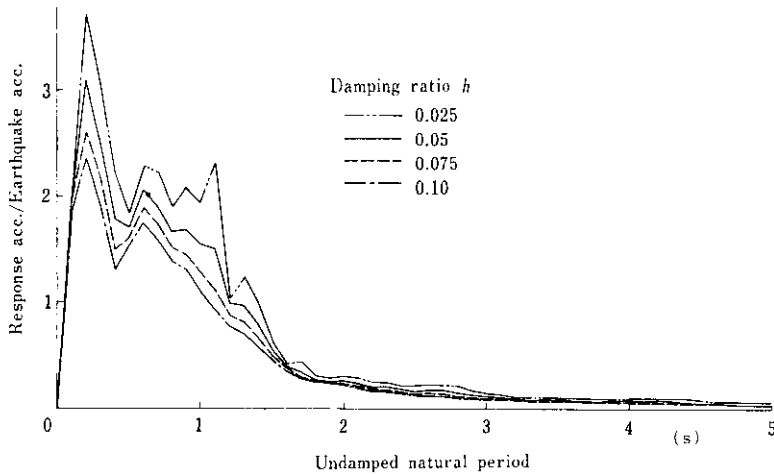


Fig. 14 Acceleration response spectra (Sept. 25, 1980)

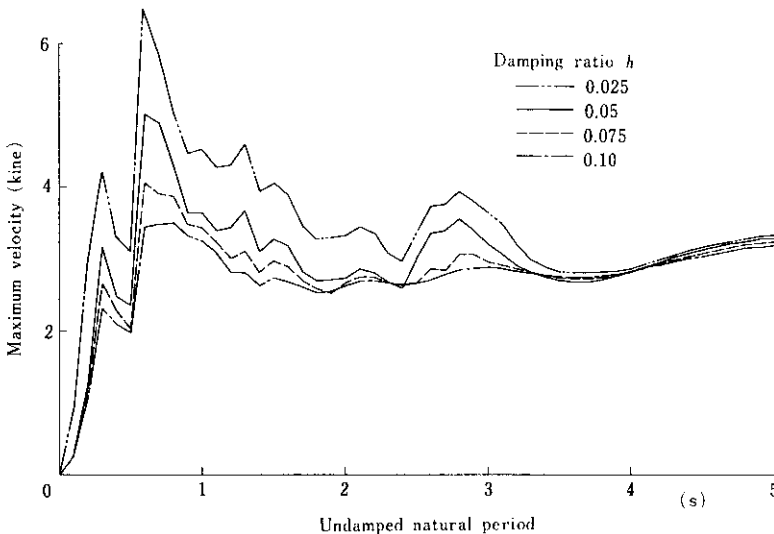


Fig. 15 Velocity response spectra (Sept. 25, 1980)

Fig. 13については比較的長周期の構造物に、Fig. 15については短周期の構造物に大きな影響を与えている。しかしながら、構造物の固有周期が1s以上では速度応答スペクトルがほぼ一定値を示すといった、従来の多くの強震記録についての解析結果の一般的傾向は、失われていないようである。

この関係を比較対照したのがFig. 16およびFig. 17である。Fig. 16の遠距離型地震は建設省およびHousnerのスペクトルと類似傾向を示すが、そのピーク値を示す固有周期は比較的長周期化している。一方、直下型地震は、松代群発地震の長野での観測結果と類似傾向を示し、固有周期が0.2s

程度の短周期構造物で地動加速度の3倍以上の最大加速度が生じる可能性のあることを示しており、固有周期が1.5s以上の構造物に対しては大きな影響をもたないことを意味している。このように比較的長周期構造物の応答が小さいのは、直下型地震では震源距離が極めて短く、かつ震源深さが浅いため、比較的短周期の波が多く、長周期構造物の応答が大きくなりえないためと考えられる。

Fig. 17の速度応答スペクトルは、当然、その入力地震動の大きさにより形状が変化するが、一般に周期に関してほぼ一定の傾向を持つ場合が多いとされ、直下型地震 (Sept. 25, 1980) のそれも、

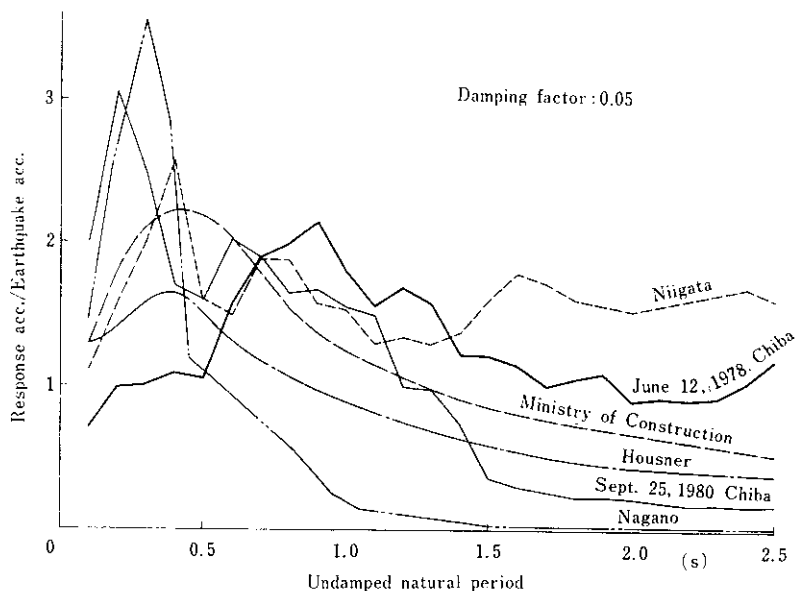


Fig. 16 Comparison of acceleration response spectra with past data

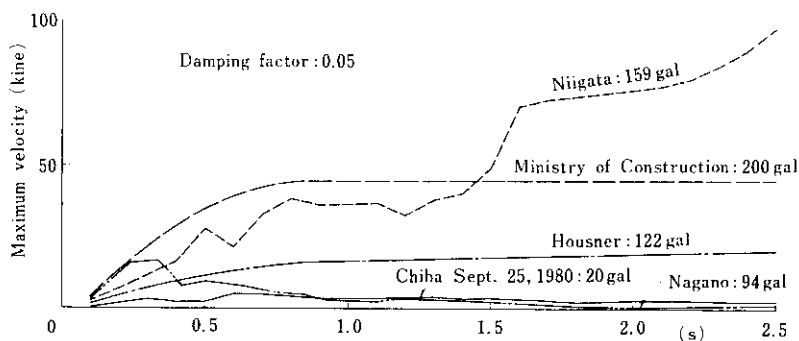


Fig. 17 Comparison of velocity response spectra with past data

建設省、Housnerおよび長野と同傾向を示し、固有周期0.75 s 以上ではほぼ一定値を示す。

5. 6 高炉基礎の耐震性

製鉄所の象徴でもある高炉の基礎を建設するに際し、建設地点が軟弱地盤でしかも地震多発地帯であることを考慮して、基礎形式の比較設計を耐震構造に主眼点をおき、地盤の応答を考慮した動的解析を行った。

5・1 動的設計

Fig.18に示すように、実構造物を並列質点系モ

デルに置換した^{3,4)}。上部構造物については曲げせん断型の3質点系モデルとした。下部構造物については、基礎の形状および地盤の性状に応じて、曲げせん断型の4質点系モデルとした。連成振動モデルにおける自然地盤としては、せん断型の4質点系モデルとし、等価地盤としては、基礎周辺地盤を想定して同じくせん断型の4質点系モデルとした。また、減衰定数は、材料減衰と逸散減衰を考慮して、構造物および地盤に対して10%とした。連成振動モデルに対する結果はつぎのとおりである。ただし、この場合の入力地震波の基盤における最大加速度は、130galとした。一般に、この最大加速度の推定は、マグニチュード M と震央距離

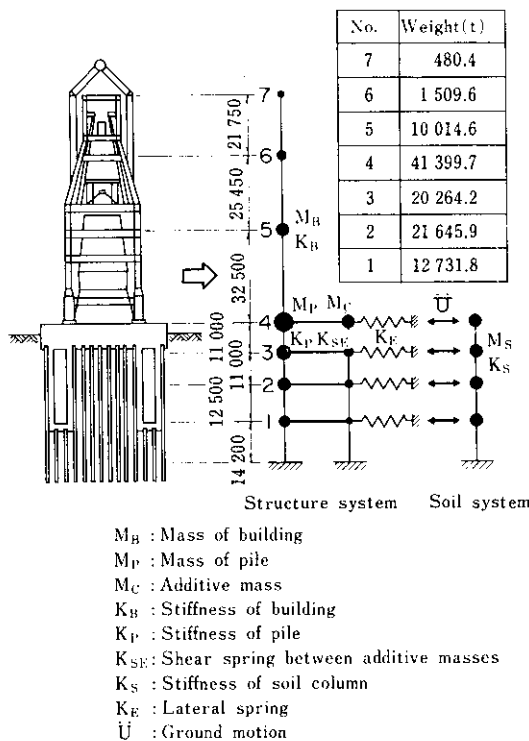


Fig. 18 Analytical model of soil-structure coupled system

Δ で行われる⁵⁾。いま、遠距離型大規模地震($M=8$, $\Delta=100\text{km}$)を仮定すれば推定最大加速度は110gal、近距離中規模地震($M=7$, $\Delta=30\text{km}$)では130gal程度の最大加速度が基盤で生ずることから、連成振動モデル解析では最大入力加速度を130galとして計算した。また、地震波形としては、応答解析にしばしば用いられる代表的なエルセントロでの地震と、本構造物建設点付近で得られた千葉(Nov. 16, 1974)および千葉(Feb. 8, 1975)の3種類とした。モード解析から、固有周期は上部工、基礎、等価地盤、水平バネを考慮したモデルに対して0.847sであった。Fig. 19に層せん断力係数を図示する。同図から、層せん断力係数は千葉(Nov. 16, 1974)に対するものが大きく、千葉(Feb. 8, 1975)に対するものが一番小さい。これは、各地震波に対する応答スペクトルの卓越周期がエルセントロでは0.6~0.7s、千葉(Nov. 16, 1974)では0.7s前後、千葉(Feb. 8, 1974)では0.2s付近にあることから、連成振動モデルに対する応答加速度が地震波の卓越周期に大きく依存しているこ

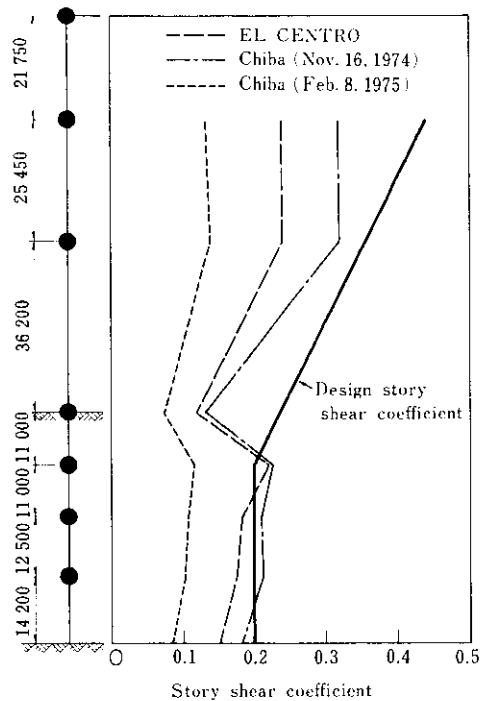


Fig. 19 Story shear coefficient calculated from analytical model

とを示している。さらに、変位に関していえば、上部構造物(質点7)で4.5~12.7cm、鋼管矢板井筒基礎フーチング部上端で1.0~2.1cmとなった。とくに基礎部の応答値は極めて小さくなったが、これは、本基礎が従来の鋼管矢板井筒を2重井筒とし、その内・外井筒間を掘削しコンクリート打設することにより基礎の剛性を高めたこと、および2次改良により地盤を強固にしたことによるものであろう。

Fig. 19には、本構造物の静的設計に用いた設計震度から求めた層せん断力係数をも併記した。連成振動解析結果は、構造物を線形であると仮定したものである。しかしながら、構造物は降伏後かなりの耐力を有し、この耐力を評価する一方法として、降伏時における変形の3~5倍まで許容できるといった方法が用いられる。いま、構造物を完全弾塑性体とし、降伏後の耐力を降伏時における変形の3倍まで許容できるものと評価すると、エネルギーの釣合いにより $P_0 = \sqrt{5}P$ のようになり⁶⁾、構造物の耐力 P_0 は降伏荷重 P の2.236倍あることになる。この点を考慮して、連成振動モデル

による解析結果のうち、上部構造物に作用する水平力を2.236で除し、層せん断力係数を計算してFig. 19に示した。

同図の連成振動解析から求めた層せん断力係数は、上部工、基礎ともにほぼ設計せん断力係数よりも小さく、とくに基礎部の設計に用いた設計震度0.2は妥当な値といえる。

5.2 実地震観測結果

上述した動的設計はあくまでもモデル解析であり、その妥当性を検証するには実地震動による実構造物の応答特性究明が最善の策である。ここでは、実地震観測以来、最大級の応答を示した、3章で述べた直下型地震と遠距離型地震の二つを選んで考察する。

Table 3に第6高炉の地震応答加速度を示し、これらから層せん断力係数に換算した分布を、Fig. 20に図示する。同図には9月24日の直下型地震の層せん断力係数をも併記した。

本図から共通していえることは、下部工の層せ

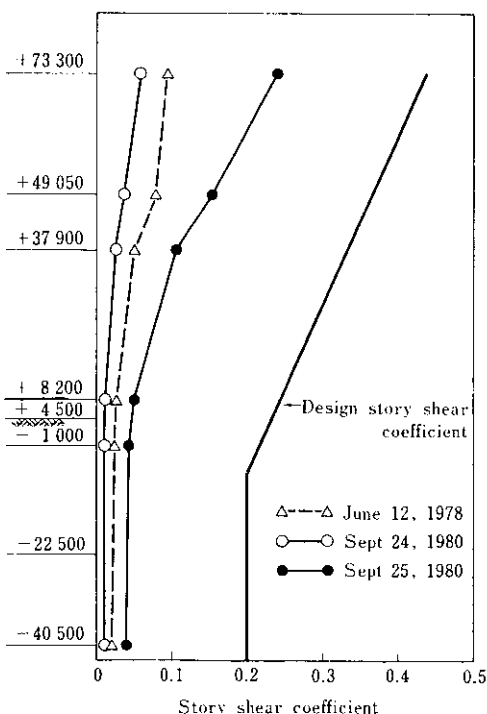


Fig. 20 Story shear coefficient calculated from maximum response acceleration shown in Table 3

ん断力係数に比較して、上部工のそれが急激に増加することである。この傾向は、過去の中規模、小規模地震結果と同様であるが、基盤層の入力加速度が大きいほどその増加率は大きくなる。これら最大級地震の中で、最大の応答加速度を示した9月25日地震の最上層の層せん断力係数0.24を、設計層せん断力係数0.45と比較すれば半分弱であることから、9月25日地震規模の2倍程度の地震が来襲すれば本構造物に何らかの被害が予想される。

6. 結 言

千葉製鉄所第6高炉およびその周辺の軟弱地盤

Table 3 Maximum acceleration of No.6 blast furnace at the points shown in Fig.1 against observed earthquakes

Location	Response maximum acceleration (Gal)		
	June 12, 1978	Sept. 24, 1980	Sept. 25, 1980
P1 X-X	38.8	27.8	114.5*
P1 Y-Y	45.0	30.0	123.6*
P1 Z-Z	8.5	13.0	30.0
P2 X-X	149.9*	64.4	265.3*
P2 Y-Y	96.3*	58.0	238.9*
P2 Z-Z	22.5	19.4	79.9*
P3 X-X	135.9*	40.0	92.5
P3 Y-Y	72.8*	30.6	126.1*
P3 Z-Z	15.3	10.0	46.3
P4 X-X	142.9*	—	—
P4 Y-Y	45.0	22.8	94.0
P4 Z-Z	11.0	8.5	47.5
P5 X-X	21.5	10.0	26.3
P5 Y-Y	19.0	7.8	30.6
P5 Z-Z	9.3	6.0	14.8
P9 X-X	15.0	—	—
P9 Y-Y	14.5	6.7	27.6*
P9 Z-Z	7.6	7.0	13.0
P13 X-X	10.2	—	—
P13 Y-Y	10.2	12.0	49.4*
P13 Z-Z	9.2	5.9	18.0
P11 X-X	9.0	10.0	41.2*
P11 Y-Y	8.8	8.0	33.0*
P11 Z-Z	6.4	6.0	17.2
P15 X-X	7.8	8.0	18.5
P15 Y-Y	6.8	5.5	19.0
P15 Z-Z	4.1	3.0	10.8

* Estimated values

で実施中の地震観測から、観測以来最大級の遠距離型地震および直下型地震に着目し、軟弱地盤層の動的変形特性を把握するとともに、高炉という重要構造物の耐震工学からみた特質を明らかにし、また耐震設計上の若干の知見を得た。得られた成果はつぎのとおりである。

- (1) 遠距離型地震による地盤水平方向最大加速度分布は深さ方向に減少し、鉛直方向のそれは深さ方向にはほぼ一定値か、わずかに減少傾向を示すのに対し、直下型地震では表面波の影響を受けて、地盤水平方向最大加速度分布は地表面を除き深さ方向に増加傾向を、一方鉛直方向のそれは深さ方向に減少傾向を示す。
- (2) 観測地震波の周波数分析から、本地盤の卓越振動数は0.9Hz前後である。また、振動数範囲は遠距離型地震で比較的狭帯域、直下型地震で広帯域に広がる。

(3) 地震波の相互相関関数から求めたS波の平均伝播速度は、ほぼ妥当な値を示す。

(4) 応答スペクトルから、高炉上部工および基礎を含む構造系の固有周期を考慮すれば、直下型地震よりも遠距離型地震に対して本構造物は共振しやすいといえるが、直下型地震における鉛直成分が本構造物に大きく影響していると考えられるので、この方面での研究が急がれる。

(5) 応答加速度から換算した層せん断力係数は、基礎構造については設計層せん断力係数と同程度の値を示したが上部工については、実測値から求めた層せん断力係数から推察すると危険側の値を示す。

(6) 観測以来最大規模の遠距離型地震 (June 12, 1978) の11倍弱、直下型地震の2倍弱の基盤加速度が発生すれば、最上層設計せん断力係数を越えることにな。

参 考 文 献

- 1) T. Yamasaki and M. Ishida: Observation and Analysis of Earthquake Motion on Soft Ground, 6th Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Taipei, (1980)
- 2) 堤一高, 根井基雄, 城郁夫: 千葉西工場の軟弱地盤対策について—地盤改良と基礎ぐい—, 川崎製鉄技報, 10 (1978) 2・3, 5
- 3) 富永真生, 越後勇吉, 内山英夫, 橋本正治: 土木工事における新しい施工管理技術“RCCシステム”(第1報), 川崎製鉄技報, 9 (1977) 3・4, 81
- 4) T. Yamasaki, M. Tominaga, H. Yukitome and M. Ishida: Lateral Resistance of Pipe-Pile Well Foundation, X ICSMFE, Stockholm, (1981) 投稿中
- 5) 岡本舜三: 耐震工学, (1971) 110, [オーム社]
- 6) 武藤清: 耐震設計シリーズ1 耐震計算法, (1963), 16~17, (丸善)