

神戸市臨海開発局 正会員 ○中井喜一郎 神戸大学 正会員 畑中元弘

ま え が き

神戸市では神戸港を中心として東西に臨海工業地帯造成と、港湾施設拡充のため、大規模な埋立工事をおこなっている。これら埋立に要する土砂は、神戸市の背面を東西に連なる六甲山系の南ろくから採取している。現在工事を実施している場所は、東から瀬森、鶴甲山、須磨、の3箇所である。六甲山系はおもに花崗岩で、とくに上記3箇所は、節理が発達し、風化が進んでおり、表面から数10mは風化が著しい。これらは真砂土と称し、土粒子の配列がよく、埋立土砂として最適のものである。しかし掘削が数10mに及ぶとかなり固くなる。そのため現在の土木機械の能力では不可能に近い。たゞ経済性を無視すれば、D9級のリッパを1本にして相当深くまで掘削できるが、リッパを使用しても掘削できない箇所がかなりある。そこで工費の低廉さ、ならびに作業工程の確実さという点からみて、爆破による掘削が最も適した工法と思われる。しかしながら爆破作業による振動が、付近の建物および人体に与える影響は無視できない。

したがっておもむきは爆破作業をおこなう場合に、建物に与える被害と、人体に対する影響を考慮して、1回に使用する薬量を決めているが、人体に与える影響の基準をどこに置くか、また、どの程度の振動ならば続けて与えても苦痛として表われないかを決定することは難しい。

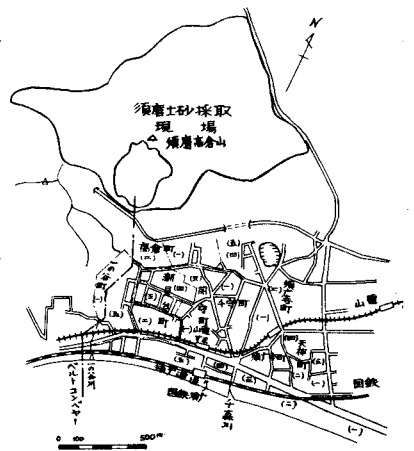
今回は3箇所の土砂採取場のうち、須磨高倉山周辺の爆破作業について、付近住民の振動に対する感覚をアンケート方式により調査するとともに、実際に地盤および民家に与えている振動について、神戸大学耐震研究室と共同調査し、その結果から1回に使用する火薬量を決定した。

1 爆破作業の概要

須磨における埋立土砂採取計画は、独立峰、高倉山（標高291m）を中心として面積104万 m^2 、土量は4,000万 m^3 のうち、3,500万 m^3 を7ヶ年で採取しようとするものである。すなわち、1年間に500万 m^3 、年間の稼働日数を280日とすると、1日平均して1万8千 m^3 が採取することになる。昭和39年1月から工事を開始し、すでに3ヶ年を経過した。土砂採取方式はベンチカット工法で、高さ20mを標準として階段状に掘削し、各ベンチにおいて、至25mm、高さに応じてその約半分の長さ9~6mの水平孔を2~3m間隔に穿ち、そして1回に30kg~200kgの火薬を装填し爆破をおこなう。火薬はコースマイトおよびANFO爆薬を用い、雷管は6号電気雷管およびD.S.D電気雷管を使用した。D.S.D電気雷管を使用したのは、1回の使用薬量が多くなり、併発すると振動被害が大きくなるので、数グループに分け各爆破を約1秒づつ遅らせ、振動を軽減するためである。

爆破作業により振動を受ける民家の環境は純住宅街である。約40年位前に建てられた家屋が多く、また都市計画による道路

図-1 須磨土砂採取現場付近平面図



の新設ないし拡巾されたものがなく、したがって昔のまゝの狭い道路ばかりで自動車交通は非常に少ない。そのため昼間でも40～45ホンである。

実際に爆破作業をおこなう場合には、1回当り火薬量を決めなければならない。そこで一応筆者の一人の提案式

$$y = KW^{\frac{2}{3}}X^{-2} \quad \text{---- (1) } 115\text{ m} < X < 250\text{ m}$$

$$y = K400W^{\frac{1}{3}}X^{-1.2} \quad \text{---- (2) } 250\text{ m} < X < 1500\text{ m}$$

y:半振巾 W:火薬量 X:振源距離 K:主として地盤による係数

を使用することにした。なおKの値については本地点近くの調査例によりK=2.5とし、また振動数は本地点で問題となる振源距離400m以上では3～5^{c/s}であったので一応4^{c/s}とし、許容振幅に対する薬量と振源距離との関係を(2)式から求めることとした。

表-1は後に示す図-5の各曲線の振動数4^{c/s}に対応する振幅を一応建物に対して許容しうる最大値と看え、また地盤の振動はその1/3としてこれらの値を示したものである。表-1よりそれぞれ①～④の基準に対する距離Xと薬量Wの関係は式

(2)より

$$\text{Meisterの強く感じる範囲の下限。 } X^{1.2} = 0.17 W^{\frac{2}{3}}$$

$$\text{B.R.S中位の振動無被害。 } X^{1.2} = 0.39 W^{\frac{2}{3}}$$

$$\text{Meisterのよく感じる範囲の下限。 } X^{1.2} = 0.65 W^{\frac{2}{3}}$$

$$\text{B.R.S弱い振動無被害。 } X^{1.2} = 1.30 W^{\frac{2}{3}}$$

となり、これを図示すれば図-2のようである。

振源距離は1,2軒を除きほとんど500m以上離れているので、図-2より距離500mのところをみると、

「Meisterの強く感じる範囲の下限」ならば1回に1000Kg、また建物に被害を与えないということを条件とし「B.R.Sの中位の振動無被害」ならば1回の火薬量は300Kg、また「Meisterのよく感じる範囲の下限」ならば140Kg、さらに「B.R.S軽微な振動無被害」ならば50Kgになる。

そこで東施に当って1回の使用薬量は

$$X^{1.2} = 0.65 W^{\frac{2}{3}} \text{ と } X^{1.2} = 1.30 W^{\frac{2}{3}}$$

の間で決定すれば少しは振動を与えるが、建物には影響がないとして、1回100Kgを標準とし、最高200Kg、たゞし、200Kgでは100Kgを一つのグループとして段発電気雷管を使用した。

2 人体感覚に対するアンケート調査

(1) 目的

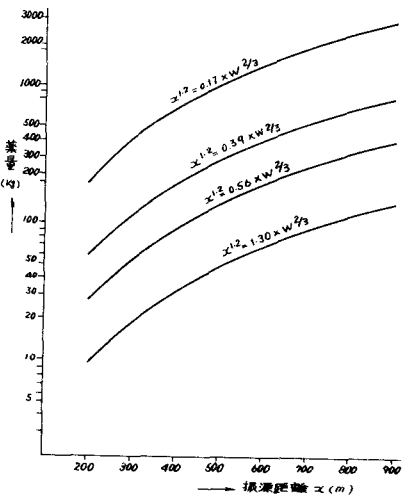
爆破作業が民家にどれだけの振動を与えているが、さらにまた住んでいる人々の振動に対する感覚ないし感情がどうであるかを調べ、計画した1回の火薬使用量ははたして適当であるかどうか、修正

表-1 振動と許容値

	振動数	建物の振動	地盤振動の標準
① Meisterの強感以下限	4 ^{c/s}	230μ	77μ
② B.R.S中位の振動無被害	〃	100〃	33〃
③ Meisterのよく感じる範囲下限	〃	60〃	20〃
④ B.R.S弱い振動無被害	〃	30〃	10〃

注: 建物の振動は本調査屋2階における振動とし地盤振動はその1/3をとった。

図-2 人体感覚基準値に関する薬量と距離の関係図



するとした場合はいくらにすればよいか、作業を進めていく上の大体の目安を得ることなどを目的とした。

(2) 期 間

第1回 昭和39年12月15日から 16日間 午前8時30分～午後5時

第2回 昭和40年3月8日から 8日間

第3回 昭和40年8月1日から 23日間

(3) 調査範囲、調査方法、調査結果

調査範囲は図-1から振動を受けると考えられる潮見台町1,2,3,4,5丁目と高倉町1,2丁目、530戸の内約半数をアトランダム抽出し、とくに振源地に近いところでは他の地区に比べてできるだけ多くの家屋を選んだ。調査方法は各戸にアンケート式の調査表を配布し第1回目の調査では1回の火薬使用量を50kgから300kgまでとした。また100kg以上は100kgを単位として段発電気雷管を使用した。振源距離は高倉町1丁目および2丁目で平均550m、潮見台町4,5丁目は670m、潮見台町1,2,3丁目で810mとなる。また調査期間中の爆破は50回おこない、振動に対して「強く感じ3」「強く感じない」「その他の意見」を記入してもらった。その結果強く感じたと答のあったものの薬量、段数、振源距離により、振巾、速度、加速度を計算で求め、そのうち周期は一定として最小振巾のものを表-2にした。振巾の計算は振動を受け3地区の数ヶ所の振動を測定し、(図-3に示す)式(1)

$$y = K 400 W^{\frac{1}{3}} x^{-2}$$

の $K=2.5$ では実測値の平均を、また $K=4$ で上限を与えることが分かったので(1)式を用い $K=4$ とした。なお段発電気雷管を使用した場合には、1回の薬量は総薬量を段数で除した数とした。周期と振源距離の関係は図-4に示す通りである。振源距離500mから800mでは約5%～4%である。速度および加速度の計算は5%として計算した。

1回目アンケート調査の結果から振源距離はあまり変わらないが薬量が100kg以上になると100kg単位で段発雷管を使用しても強く感じ、建物に影響があるのではないかとの不安を訴えている。したがって第2回目では1回の使用薬量を最高100kgとし、アンケート

表-2 アンケート調査結果

調査 町名	全調査 結果	強く感じ3 強(%)	強く感じない 弱(%)	強く感じる場合の下限			
				振源距離 (m)	火薬量 (kg)	振動回数 (回)	計算値(振源200sec) (振幅(m)) 速度(m/sec) 加速度(g)
潮見台町1,2丁目	5	1 (20%)	4 (80%)	780	96.0	1	5.45 0.17 0.54
潮見台町4丁目	48	34 (70%)	14 (29%)	680	63.0	1	5.06 0.16 0.51
潮見台町5丁目	66	42 (63%)	24 (37%)	750	63.0	1	3.98 0.13 0.40
高倉町1丁目	44	25 (57%)	19 (43%)	640	190.0 (6.3.3)	3 (1)	5.63 0.18 0.55
高倉町2丁目	7	6 (86%)	1 (14%)	570	190.0 (6.3.3)	3 (1)	7.28 0.23 0.72
全 体	170	108 (63%)	62 (37%)	注:1.()内の火薬量は1段に換算したものである。 2. 振源距離は振源-振(使用)点-建物までの距離の平均			

図-3 振幅と振源距離との関係

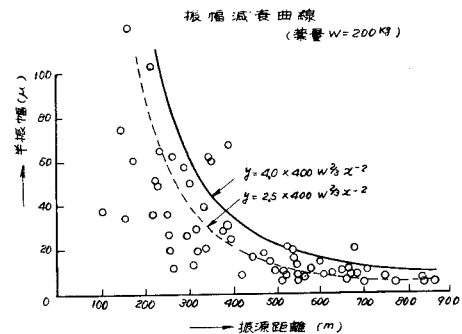
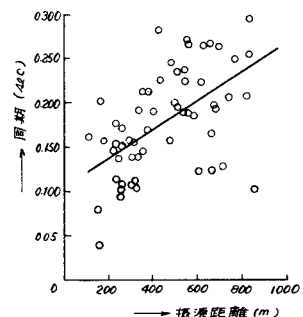


図-4 周期と振源距離との関係



調査をおこなった。要領は前回とほぼ同じであるが、「戸障子がやれた」「家がゆれた」をさらに追加して記入してもらい、「家がゆれた」の場合は振動が強いとし「戸障子がやれた」の場合は振動が軽いと解釈した。その結果は表-3の通りである。

表-3 アンケート調査結果

2回のアンケート調査から振源距離800mで1回の火薬使用量を標準60kg, 最高90kgとし、後者の場合には段発電気雷管を使用した。また振源距離により薬量を変えて工事をおこない、数ヶ月後第3回目のアンケート調査をおこなったが「感じない」および「余り感じない」が94%。「強く感じる」が6%であった。

調査結果 町名	全調査表 (戸)	強感の 戸数 (戸)	強感の 割合 (%)	振源距離 (m)	火薬量 (kg)	強く感じる場合の下限	
						計算値(距離0.205FC)	計算値(距離0.205FC)
高倉町1丁目	5	1(20%)	4(80%)	850	82.5	1	4.24 0.13 0.42
高倉町4丁目	48	34(70%)	14(29%)	700	60.0	1	4.46 0.14 0.44
高倉町5丁目	66	42(63%)	24(36%)	700	53.0	1	4.19 0.13 0.41
高倉町1丁目	44	25(57%)	19(42%)	580	60.0	1	6.78 0.21 0.67
高倉町2丁目	7	6(85%)	1(14%)				
全体	170	108(63%)	62(36%)				

注：1. 高倉町5丁目と高倉町1丁目の震源距離は、震源距離の平均値に近接測定し平均したものである。

図5 建物の被害と振幅との関係

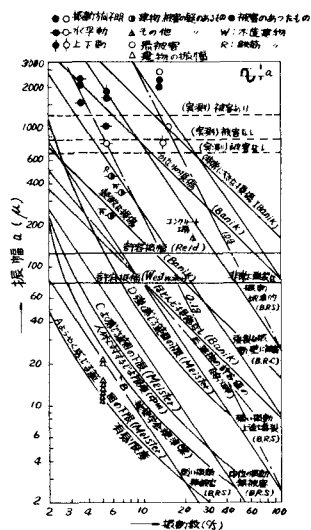


表-4 兵庫県公害基準値

地域区分	規定基準値(単位: mm/s)		
	午前7時から午後5時まで	午前5時から午後7時まで(土曜日から日曜日まで)	午後7時から翌日の午前5時まで
住居専用地区(1区画)	0.3	0	0
住居地域	0.6	0.3	0
商業地区(1区画)	0.9	0.6	0.3
工業地区(1区画)	1.2	1.2	0.6
工業専用地域	1.2	1.2	0.9

備考
1. 指定地区は指定地区設置法に基づき事業場の被害者に面する側の敷地境界線の地表で行ない上下動、水平動の最大値の平均とする。
2. 建設工業は第3地区については午前7時から午後5時まで(土曜日から日曜日まで)の間は、午前7時から午後5時までの間は、この基準値を適用しない。なお、夜間(午前5時から翌日の午前5時まで)に建設工事を行うことについては、やむを得ない限り(1)条に基づき、建設工事については、すべてこの基準値を適用しない。建設工業に係る指定地区は振動基準に最も近い建設工事の敷地境界線の地表とする。

3. 地盤振動と人体感覚

2回のアンケート調査から発破振動が苦痛となって表われ始めるのは地盤の振動が4~5μ程度からであるとみられる。したがって木造家屋の2階における振動は大体この3倍とみて12~15μになり、それ以下の振動ならばおむむ苦痛にならないものと思われる。これを図-5に示した建物の被害と振幅の関係に記入すれば△印のようになり、ほぼ「Meisterの有感限界」付近にある。たゞし同期は図-4から振源距離500~800mの平均5%とした。なおこの場合の速度を計算すると表-2~3に示す様に大体0.15mm/sになる。

結語

建物の振動は振源のエネルギー、振動伝播経路の地盤の地質や地形、とくに建物の建設されている地点の地質、建物の構造形成や経過年数などに大きく影響される。一方人体感覚に対する振動の基準値は一応図-5のような提案もあるが、住宅環境や住民感情、たとえば工事に対する理解の程度、協力的であるか敵意を抱いているかなどによって大きく左右される。したがって本工事のように人為的な振動がいわゆる公害の対象となる場合、どの程度の振動まで辛抱してもらえらるものか、つまり苦痛にまで発展しないものかなどを決定するのはさうわめて困難な問題といわざるをえない。たゞ本調査の結果いえることはこの地域のような純住宅街で静かなところでは木造家屋2階で Meisterの有感限界がほぼ苦痛の限界となる。また速度に直せば0.15~0.2mm/sで表-4の兵庫県公害基準値住居専用地区0.3mm/sの1/2程度を考えて置けばよいようである。