



Title	13. 余市フゴッペ洞窟の振動測定
Author(s)	田治米, 鏡二; TAZIME, Kyozi; 五十嵐, 亨 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 24, 189-196
Issue Date	1970-09-18
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.24.189
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13989
Type	departmental bulletin paper
File Information	24_p189-196.pdf



13. 余市フゴッペ洞窟の振動測定

田治米鏡二・五十嵐 亨
笹谷 努・殿内啓司
(北海道大学理学部地球物理学教室)

長能正武
(北海道大学工学部建築工学教室)

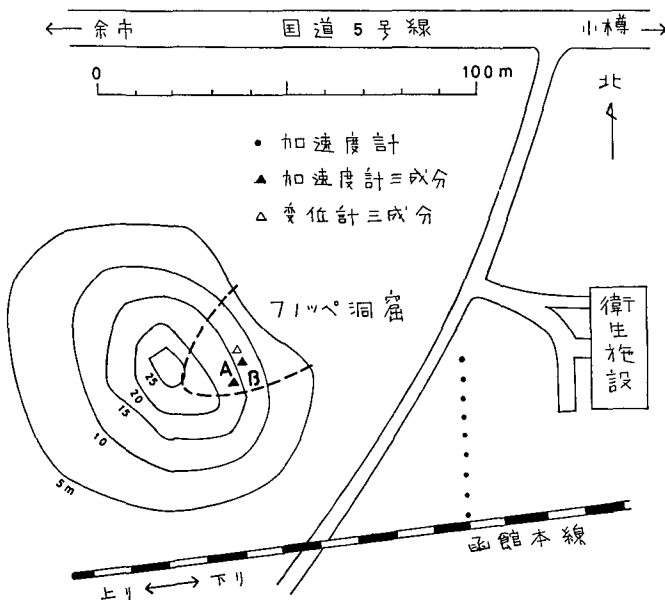
— 昭和45年4月受理 —

1. 測定情況

フゴッペ洞窟の壁面の破損の原因の1つであるかも知れぬ振動状態の測定を行なった。

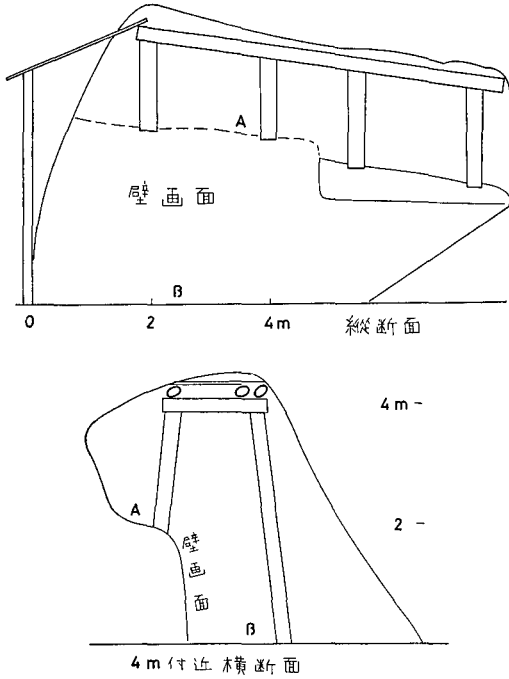
国道5号線も洞窟の近くを走っているのに、トラックなどによる振動の影響も考えられぬこともないが、さらに近くを走っている国鉄函館本線の方に注目した。

第1図の▲印の位置に加速度計3成分(上下動, 南北動, 水平動)ずつを置き、△印の位置に変位計3成分を置いた。第2図に示されているごとく、Aは壁画面の上方にあり、Bは洞窟の床面にある。かくのごとき配置のまま、1970年4月6日15時から22時まで、および4月7日8時から15時まで、列車通過時の振動測定を行なった。ここを通過する列車の本数は上下合わせて1日に約50本である。これらの列車の構成はディーゼルカーと蒸気機関車と



第1図 振動計の配置

Fig. 1. The location of transducers.



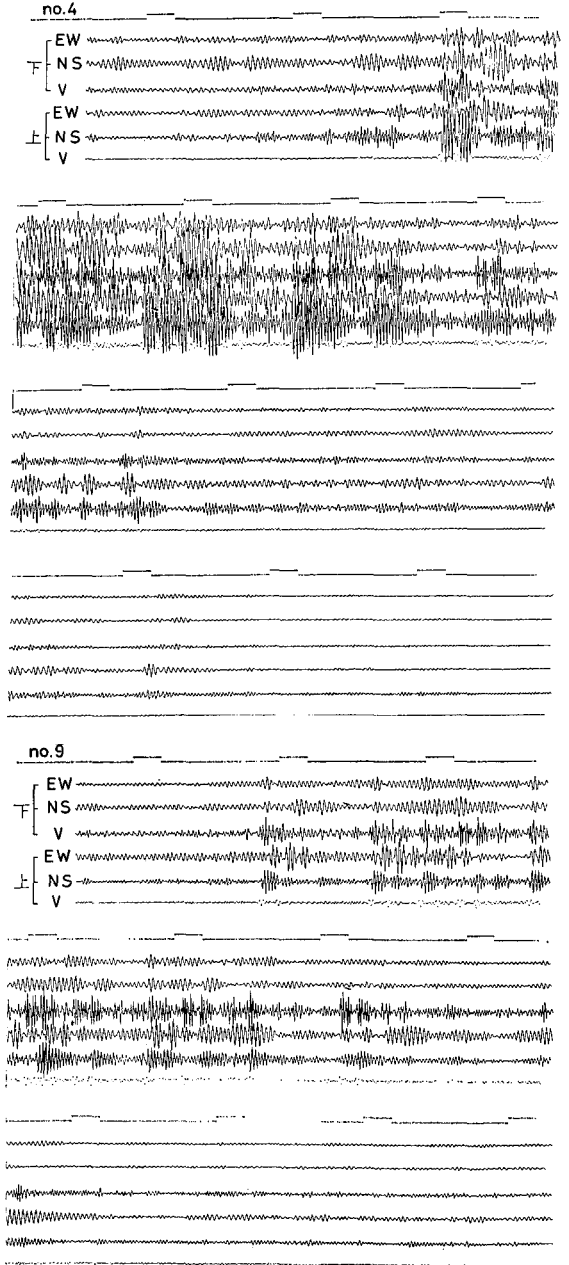
第2図 洞窟の断面図

Fig. 2. Cross sections of the cave.

が約半々であって、1列車の車輛数はたかだか12輛である。貨物列車も長くない。

加速度計の固有周期は1/3秒であって、今回の測定のために作られた減衰器を通して電磁オシログラフに直結されている。変位計の固有周期は1秒であって、減衰器および増幅器を経てビシグラフとデーターレコーダーとにつながれている。これらの計器の動的特性¹⁾および感度は予め検定されている。

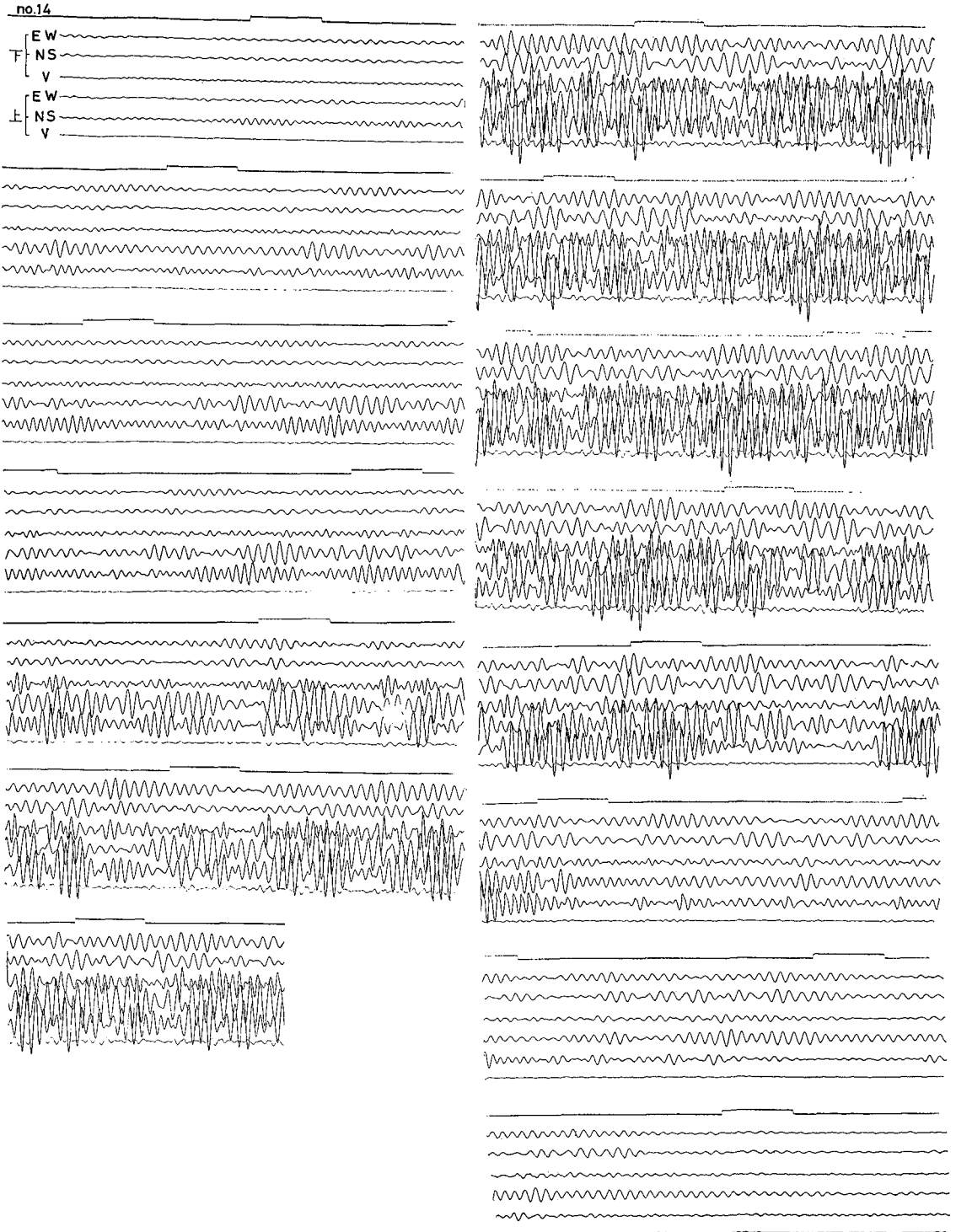
第1図の・・・は4月7日15時から16時の間に行なわれた測定のための加速度計の配置である。線路ぎわ1mから40mまでの加速度の減衰を調べるのがその目的である。△印の位置におかれた変位計は微動を測定するのが主目的であったが、列車通過時には感度を下げて、加速度計との同時測定を行なった。



第3図 加速度記録4および9

Fig. 3. Records 4 and 9 for acceleration.

1) 田治米鏡二・他 1970; 青森県津軽大橋(長泥橋)の振動測定, 北大地物報告, 24, 169-190.



第4図 加速度記録14
Fig. 4. Record 14 for acceleration.

2. 測定結果

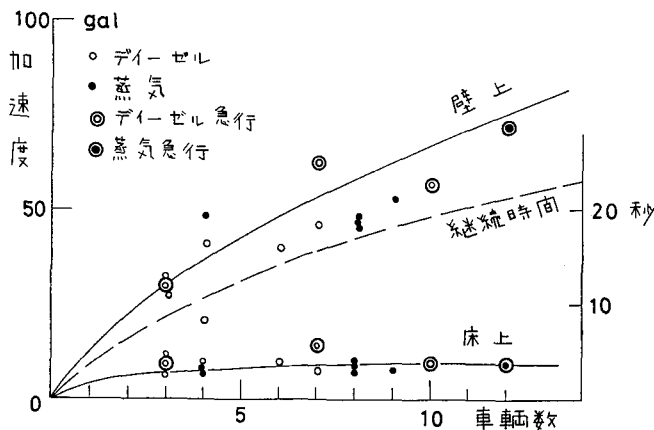
洞窟内で測定された加速度記録の2, 3の例が第3図と第4図とに示されている。刻時は1秒である。壁面の上方におかれた上下動の加速度計は正常の動作をしていない。

測定された記録の中のあるものは振幅が大きすぎてスケール・アウトした。また、あるものは振幅が小さすぎて加速度の数値を算出しえなかった。良好な各記録の中から最大振幅の部分を選び出し、加速度を求めた数値が第1表に挙げられている。大きな振動の周期はいずれの

第1表 測定された加速度, 単位はガル

Table 1. Accelerations observed. A unit is gal.

記録	車種	壁面上		壁面下					
		南	北	東	西	南	北	東	西
4	ディーゼル3輛(上り)	23	17	7.6	5.6	3.6			
5	蒸気4輛(下り)	30	38	6.3	5.9	—			
6	蒸気8輛(上り)	31	43	7.5	6.5	6.6			
7	ディーゼル10輛(急,下り)	30	48	10	6.6	7.4			
8	蒸気12輛(急,上り)	45	55	9.5	8.6	9.4			
9	ディーゼル3輛(急,上り)	23	21	7.5	4.1	3.4			
10	ディーゼル4輛(上り)	12	13	8.1	3.6	4.4			
11	蒸気8輛(下り)	22	40	6.3	9.2	7.4			
12	ディーゼル6輛(下り)	27	30	8.5	5.7	5.0			
13	ディーゼル3輛(上り)	24	24	7.8	5.7	4.4			
14	ディーゼル7輛(下り)	33	31	7.0	3.5	3.8			
16	ディーゼル4輛(下り)	32	26	6.3	—	3.2			
17	ディーゼル7輛(特急,下り)	43	44	12	—	7			
18	蒸気8輛(上り)	24	41	8	—	5.6			



第5図 水平加速度および振動継続時間と車輦数との関係

Fig. 5. Relations between the horizontal acceleration, the duration time and the number of cars of each train.

場合も 1/30~1/40 秒である。

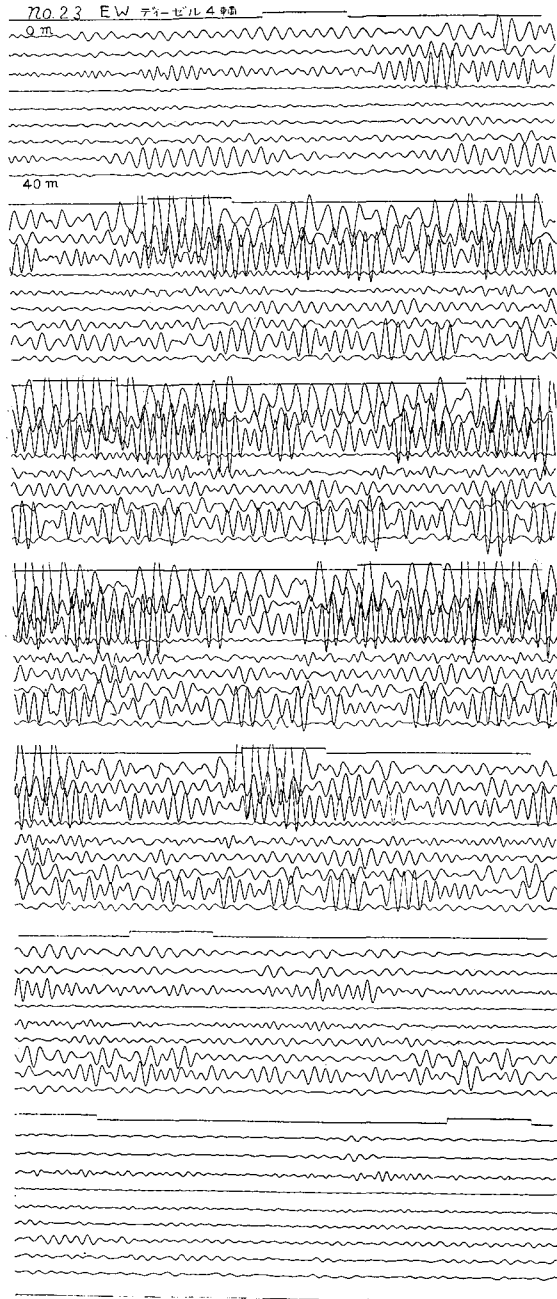
これらの測定結果を概観すると、上下動、水平動（東西、南北）とも振動の大きさに大差ない。壁画面上方の振動は洞窟床面の振動よりも約6倍大きい。このことは注目に値する。

第1表の東西動と南北動とから合成された水平加速度と各列車の車輛数との関係を見ると第5図のごとくなる。実測値にはかなりのバラツキはあるものの、大体の傾向は実線で描かれた曲線で表わされる。詳しく見ると、加速度の大きさは、車輛数にのみならず、列車の速度にも関係がありそうである。これらに反し、蒸気機関車とディーゼルカーとの間に顕著な差はない。

今回測定された水平動の最大加速度は壁画面の上部で約70ガルであった。この数値は気象庁の震度階では震度IVに相当する。この際の床面上の水平動の加速度は10ガルであったが、これは震度IIIに相当する。このような場合には、洞窟内では壁画面の上部ではもちろん有感であったし、床面上においても振動を感じることができた。

しかし、第1図に示されている衛生施設の内外では、いかなる列車の振動も人体で感じることはない。この経験は洞窟内の振動を直観的に過少評価させ勝ちである。そこで、線路ぎわからの距離による振動の減衰を測定した。9個の加速度計を5m間隔で第1図の・・・のごとく配置して列車通過時の振動を測定した。

4輛編成のディーゼルカーが通過した際の東西動の記録例が第6図に示されている。

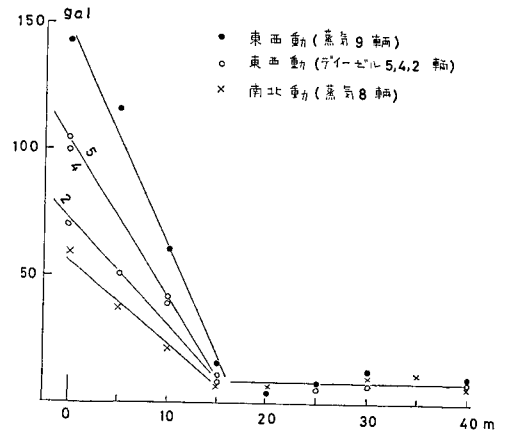


第6図 線路からの距離の増加に伴われる東西動の減衰記録

Fig. 6. The record of EW vibrations attenuated with increase in distance from the rail way.

これらの記録を見ると、0から40mまでの距離では振動周期には変化が認められず、どこでも約1/30秒の周期の振動が卓越している。各トレースの最大振幅部に着目し、そこから算出した加速度が第7図に示されている。

これによると、線路からの距離が増すと加速度は急激に減り、15m以上になると、加速度は10ガル程度になってしまう。線路から洞窟の床までの最短距離は約35mなので、そこでの加速度はたかだか10ガル程度であったことがよく理解される。



第7図 線路からの距離による最大加速度の減衰

Fig. 7. Attenuations of the maximum acceleration with distance.

3. 測定結果に対する考察

先に述べたごとく、地震の際の加速度10ガルは震度IIIに相当する。とすれば、列車通過の際の振動は衛生施設で有感である筈である。しかしながら、列車通過の際の振動周期は地震の周期に比し極めて小さいので、加速度は同じでも、変位は周期の2乗に比例して小さい。このために、列車通過時の振動は人体には鈍感になるものと思われる。このように考えると、人体には鈍感であっても、10ガルの加速度は壁画面の突出部の崩壊に悪影響を与えぬとは云えぬ。まして、壁画面の上部では列車の通過ごとに、数10ガルの振動が約20秒続くのである。

洞窟内の床面上で測定された、列車の通らない静かな時の雑微動の大きさは大体第2表に挙げたようなものであった。これらの値から合成される水平動の加速度は0.14ガルである。ゆえに、列車通過時の洞窟内の加速度は普段よりも70~80倍大きくなる。

ただし、列車通過時の振動記録を見れば判るとおり、列車通過時と云えども数10ガルの振動が列車通過時間中に絶間なく続いているのではない。加速度の極大値は約1秒ごとに断続的に現われるのである。最大加速度と極大間の小さな加速度との比は10にも及ぶ。ゆえに、列車通過時には全く静かではありえぬとしても、断続的に現われるこの大きな加速度の部分無くすることができれば、列車通過時の洞窟内の大振動の大きさを現在の約1/10に減じることができる。

この断続的な大加速度の原因は、列車がレールの継目を通過する際の衝撃によるものと思われる。一度発生してしまった振動から逃れることは極めて困難である。むしろ、妨害になる

第2表 雑微動

Table 2. Micro-tremor.

		周波数 (cps)	速度 (kine)
上	下	9	0.39×10^{-3}
南	北	29	0.49×10^{-3}
東	西	25	0.58×10^{-3}

振動を発生させぬように心がけるべきである。このためには、壁画面から 100 m 以内にあるレールの継目を無くすことが第 1 に大切である。次に、洞窟の付近で列車が加速をしないでよいように、線路の曲りや勾配を設計すべきである。

一方では、洞窟の岩石標本に対し、30 cps 程度の 1~100 ガルの加速度を加え、微細な崩壊の状況を調べるべきであろう。この実験の結果、10 ガル程度の振動なら無害であることが判ったとすれば、上記のごとく、現在の線路に少々手を加えれば振動による害は防がれる。これに反し、1 ガル程度でも有害との実験結果になれば、現場の振動による害を防ぐことは極めて困難である。

洞窟内での肉眼観察によれば、列車通過の振動が床面で有感の場合にも、壁画面からの砂粒などの脱落は認められなかった。壁画面が湿気を帯びているので、砂粒の脱落が防止されているのであろう。ただし、短時間の観察しか行っていないので、長時間の中には現状においても、砂粒の脱落は無いとは云えぬ。

謝 辞 今回の測定は余市町教育委員会の依頼によって行なわれた。測定に際しては道指導部社会教育課にもお世話になった。測定は北後志衛生施設組合の施設内で記録された。同組合にも感謝する。今回の測定は東京大学の岩塚守公氏により計画されたのであって、予備調査の段階では同氏と現地に同行し、その際に、測定の具体的方針が定められたのである。

13. Measurements of Vibrations of the Cave at Fugoppe in Yoichi-cho, Hokkaido

By Kyozi TAZIME, Toru IGARASHI, Tsutomu SASATANI, Keiji TONOUCHI
(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)
and Masatake NAGANO
(Department of Architecture, Faculty of Technology, Hokkaido University)

The cave has the famous ancient pictures on its wall. However, as the wall consists of natural soft rocks that is sand rocks, mud rocks and loose conglomerates and it receives severe weathering, the pictures are being get considerable damages. One factor of the damage might be due to the vibration of the wall caused by the train which runs very near the cave.

Accelerations were measured at two sites, the foot and the top of the wall, with three component transducers. During the passage of each train, maximum accelerations were found as large as several tens gals on the top but nearly ten gals on the foot. The larger the number of cars and the velocity of the train, the larger the acceleration observed. Frequencies of the large vibration were 30 to 40 cps. These vibrations are attenuated from hundreds gals near the rail to only ten gals on the ground far 15 m from the railway.

The present authors don't know whether this amount of vibration may have any effect to the damage of the picture or not. If it will be preferable to diminish the maximum acceleration within 10 gals on the top of the wall, it may be done by using jointless rails near the cave. In the absence of the train the acceleration of the micro-tremor on the foot was only 0.14 gals, being its frequencies nearly 30 cps.