

## 第 15 回 松代地震センター談話会発表記録

1. 日 時：昭和 45 年 3 月 30 日
2. 場 所：松代地震センター
3. 発表題目：デンバー地震について
4. 発表者：気象庁 地震観測所 相原 奎二

松代で、ボーリング孔に注水しようという時に「デンバーでそういう例があったから」ということがあったので、ちょっと手に入った資料の一部をご紹介します。

コロラド州のデンバーという町の近くに、ロッキー山兵器廠(へいきしょう)というのがあり、そこで化学兵器、毒ガスだと思えます、を作っていた。ところが、その製造工程で毒の水が大量に出てきてしまった。内陸のことで川に流すわけにはいかない。最初のうちは、池に溜めて蒸発させていたのですが、とても間に合わない。孔を掘って地面の地中に捨ててしまおう、地上に影響がないようにするには 12,000 フィート、4,000 m ぐらいの孔を掘ればいだろう、というわけで末口下の方で 5 インチの孔を掘って、バツと水を押し込んだ。1962 年の春から水を押し込んだ。

そうしたら、ちょうど翌月あたりからデンバー付近で、有感地震がポツポツ起きだした。そのうち、水の量が減ったので圧入しないでよくなって、水の注入を止めたら地震の数が減ってしまった。そのうち、また水を入れだした。そうしたら、また地震の数が増え出して、どうも入れた水と地震と関係があるようだ、というのでここで水の注入を止めた。

ところが、地震のほうはずうっと続いて、水の注入を止めてから 18 ヶ月ぐらい経ってマグニチュード 5、5.3 という地震が起きた。そういったことがあったわけです。

そこで、このデンバーの市街、ここの部分が兵器廠、ここに書いてある丸が押し込んだ井戸の位置。ここにあるコロラド大学の観測所で観測したところが、初動方向と P-S からみると、地震はだいたいこんなような弓なりの所に入っているということです

そこで、年毎に地震の頻度が多かった所を囲んでみると、1962 年には、ここが兵器廠の井戸の位置ですが、その付近が一番多い。63 年になると、井戸のあるセクションよりも、もう少し北の方に中心が移った。翌年もそこで動かない。65 年になると、やはりこれと同じで少し広がってはいるけれども、井戸のある次のもう一つ北のセクションが一番多い。66 年も同じ。67 年になると少し広がったけれども、やはりすぐ北の方が多い。そして南の方は、わりあいはっきり地震の起こる範囲が決まっているけれども、北の方は、この図ではボヤボヤとぼけてしまっている。はっきりやってみると、こんなことになります。井戸のある位置がここになります。最初の時は、井戸のあるセクションで一番多かった。その両側に増えていった。

それが翌年になると、こんな方に少し広がった。64 年の注入しなかった時期は、やはりちょっと北側で起こった。65 年、注入を始めても、この時と同じに北側で起こった。66 年になって、量が減っても同じ。67 年、注入が終わってしまっても、やはりここで起きている。

今度は、初動だけではなくて発震機構の問題も調べてみよう、というわけで、P 波の上下動の振幅と S 波の振幅(三成分の合成値)とを比べてみた。地震が四象限型で起きているとすれば、象限の切線の向き、力の働く向きが変われば P、S の振幅比は変わるはずだ。あるいは、位置が動いてもそうなるだろう。そういうことから水平面の動きのほうはさっき分かっているので、今度は力の働く向きが少し変わった

んじゃないかということ調べてみたら、やっぱり、あんまり変化していない。ただし、62、63、65、66年ぐらいは、あまり変わっていないけれども、67年になってからずいぶん様子が変わった。そういうようなことが出てきた。

ところで、これは初期の段階で、最初62年、63年はここで揺れた。ここでちょっと圧入を止めて、64年から65年にかけて、今度は圧力を入れないで、ただ自然流下で入れてもこれだけ入った。そのとき地震も少し起こった。ポンプで入れだしたら、またこう増えた。さっきの地震回数図の一部分の中間報告的なものから抜いたものですが、こんな事も起こっている。

そして、最後に1967年の4月10日にマグニチュード5の地震が起きたところ。先ほどの観測点の所にあった歪み地震計、東西南北成分と北西南東成分というように三角に配置しているわけですが、その3つで見ていると、東西方向は多少このような変化をしている。南北方向はこう変動している。斜めの方向はこんな変化をしていた。

地震が起きた時に、北西南東方向では10-7をちょっと上回る程度の縮みがドンと起きた。それから、東西方向ではわずかに伸びているようだ。南北ではほとんど目立たない。そういうことがあったようです。ただし、このくらいの動きになると、他の影響もいろいろ出ている。南北成分のこういう動きは、どの程度に水を入れたところと関係があるかよく分からないと、本には書いてあります。ともかく地震の時にこのような変位があったことは確かなようです。

起きた地震をマグニチュードと頻度との関係でみると、だいたいこんな直線になる。この傾斜が10.9ぐらい。自然地震とそんなに違いがない。約40km離れた所でマグニチュードを決めているので、数が少なく十分でない。いまのものがここに書いてあります。地震観測所で、山岸さんが松代地震についてマグニチュードを決められたのを借用して書いてみると、こんなものになり、松代のほうがデンバーのものよりも、少し立っていると見ていいように思われます。ただ、本に書いてあったのは、0.5刻みで、こちらで合わせるために同じように区切り直してみたけれども、だいたいこの辺のところを除くと、たいした違いがない。こういうことから、松代の群発地震とデンバーで誘発された地震とが、どれだけの違いがあるのだろうかというのを言うのは、ちょっと無理ではないか。あまり言えないんじゃないかという感じがします。

ただ、1967年の4月に起きた地震ですが、余震だけを4月10日から月末まで20日間ぐらいを書いてみると、かなり寝てくる。ところが、8月に起きた地震だけについて書いてみると、これとほとんど平行になる。4月の時と8月の時とで、余震のほうの状態が違っていたということがあつたようです。もっとも、松代の場合でも地震の活動期によって、傾斜がだいぶ変化したこともあるようですから、将来こういうことももういっぺん比較してもいいんじゃないかという気がします。

これが、過去100年ぐらいの間にデンバーの付近で起きたいろいろな地震で、古いものは新聞の記事などから震度を推定し、大きさの見当をつけて丸を書いた。1967年のものが、ここに起きている。ところが、その前に1882年にもここで、やはり似たような地震が起こっている。ほかでは55年、70年といろいろ起きているけれども、この辺は少なくとも1882年以来、あまり大きい地震は起きていなかった。なお、この付近はこんな調子で、地震が極端に多い所とは言えないけれども、地震が起きなかった所ではないということです。

これが、1882年に起きた地震の震度分布です。ここに書いてある震度は改正メリカリー震度で、日本の震度階とはちょっと違い、12段階でこちらのほうが大きくなっています。この付近で地震が起きたというのに、何かずいぶん遠くの方で震度が強く出ている。これから北の方では、わりと遠くで震度が強いのに、南の方はわりあいそうではない。ともかく、人体観測ではずいぶん方向性があるようだ。

それが、この辺の地質構造に関係があるんじゃないかと書いてありますが、地質のことはよく分からないので、今日は勘弁させていただきます。

まことに雑ぱくでしたが、以上です。

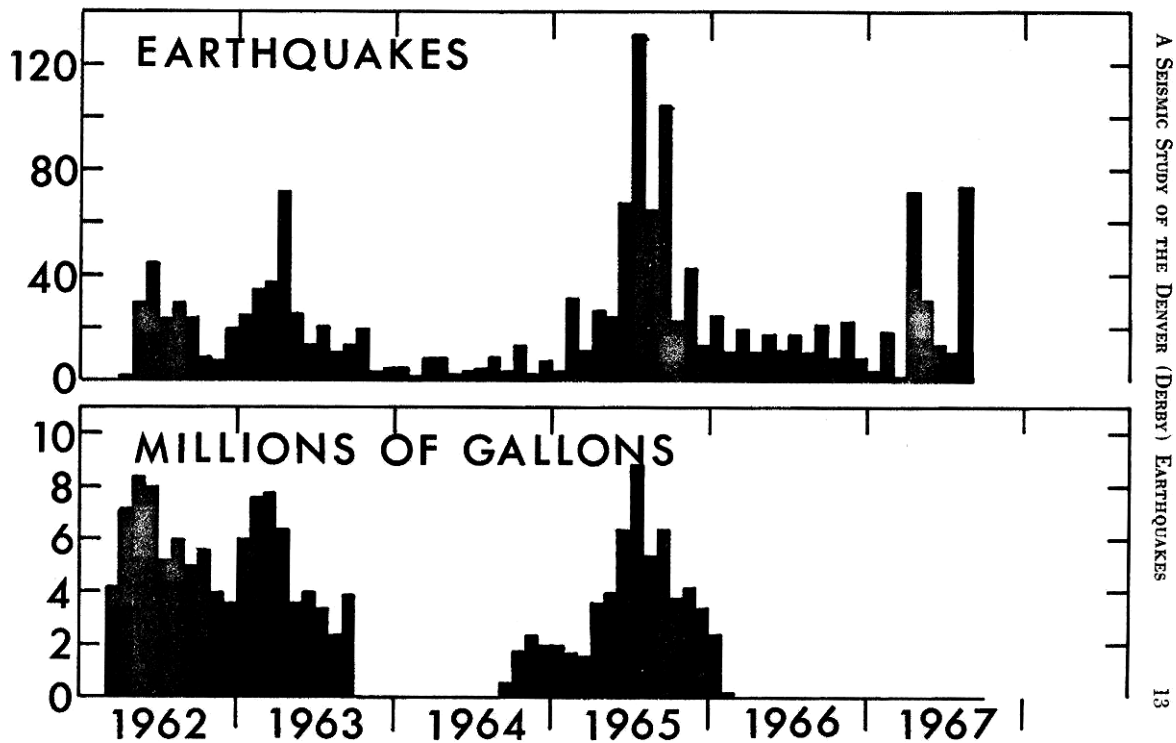


FIGURE 1

図1 デンバー地震回数と圧入れ量

#### 【質疑応答】

司会) 以上で予定した報告は終わりますが、今までのことでいろいろ質問・ご意見がありましたらどうぞ。

質問) もう、再びボーリングを使って圧入実験をやることは全く不可能ですか。例えば、今度は3千トンではなくて3万トンぐらい入れてみる \*\* (以下不明)。もうちょっと1ヶ月、2ヶ月と長いやつを。

答) あんまり置いておくとケーシングが腐ってしまう。入りにくくなると思うんですけども、まあ全然初めてやったものですから。普通のガス田なんかで水を押し込んで、ガスを採ることがあるけれども、ここは本当に入るかどうかよく分からないで、クラックが多いから、クラックの多い所を狙ってやれば、とにかく量は分からないけれども、ある程度入ると思っていたんです。

それと経費の関係もあって、今回ののが精一杯。ちょっと超しているぐらいです。掘り屋のほうにもだいぶ損害が出ています。技術的な問題としては、ある程度経っても入れてみることはできないことはないと思います。もう一つは経費の問題です。よっぽど新しい考えがはっきり

できない限り、もうお金は取れない。

質問) 周辺部でまだ地震の起きそうな所に、もう1本新しいボーリングをしてやることは無理でしょうか。

答) お金が取れないと思います。今後やるとするならば、\*\* (不明) \*\*、今の孔を使って \*\* (不明) \*\*、こんな具合にスコスコ入ってしまう。水の手当をよくやって、圧力も \*\* (以下不明)\*\*。今回は50キロぐらいだったけれども、あまり高くやると、今度は鉄管の周りやセメンチングを壊して上がってきてしまうけれども、もう少し高くは上げられると思います。

いま50キロをやったけれども、70～80キロぐらいまで上げて、容量のでかいポンプを持ってくれば、まだ相当入る。ただ、ここみたいな所でやってみるとするならば、今の松代荘みたいな所とか何カ所か並べて、地震断層の所にボーリングの孔を何本か一斉にやると、何か変化が起きると思うけれども \*\* (以下不明)\*\*。

こういう第三紀層のかなり固い中でやっても、地震で \*\* (以下不明)\*\*。地震じゃなくてもいいんですが、地下にかなり割れ目が入った。しかも、ここは皆神山と可候峠(そろべくとうげ)との間で1メートル以上伸びたわけですね。そういう断層の所を狙って、上から何本かやっていると、地震断層全体に沿って水をかなりよく入れられるんじゃないかと思います。

1ヵ所から押し込むのは、どうしても上に出てくることは避けられない。入れる量も限度がある。効果からいっても何本か狙って入れるといいと思うわけです。

質問) 先ほどの報告では、湧水量はあんまり増えないですね。

答) 測ることが非常に困難なために \*\* (不明) \*\*、一つは周りの水を測っていないけれども \*\* (以下不明)\*\*。

質問) ほとんど中に入ってしまった、というわけですか。

答) 中に入って混ざり合い、少しずつ利息のように出てくる。

質問) どんどん続けていければ、どんどん下に入っていくんじゃないんですか。

答) はい。

質問) デンバーのやつは、1年以上入れたわけでしょう。それに比べたら \*\* (以下不明)\*\*。

答) 象と蟻みたいになってしまうわけですけども。

質問) きわどいところで、もうちょっと圧入してみたかったですね。

答) もうちょっと側に届いたくらいで \*\* (以下不明)\*\*。初めは入れることも困難だと思っていた。「お前はとんでもないものを引き受けた」と、「どうするんだ。そんなことは止めろ」と、みんなから言われた。 \*\* (不明) \*\*、だいぶ言われました。場所を選べばはいると何となく思っていました。場所は別として、お金をどうやって取るかという問題もあるけれども、地震は水攻めがやっていけるということは、技術的には自信がついたわけです。場所を選べば、相当固い所でも入る。その入れ方も、こういうところがわかったんだから、何カ所かに分けて土木でやる \*\* (不明) \*\*、ダーっと並べて抜きますが、あれみたいに何カ所か狙いをつけた断層面に向かってじゃんじゃんやれば、ウォーター・スクリーンみたいなものが地面の中にできると思います。

質問) 今でも、相当それがいっているのではないんですか。ただ量が足りない。

答) ええ、量が足りない。メカニズム的に \*\* (以下不明)\*\*。名古屋大学の北野先生のほうと、それから震研の小坂さんのほうとは少し意見が違うけれども、小坂さんのほうだと、こちらは塩化カルシウム型の水で、こちらは層じゃないんだと。食塩泉のやつがどんどん出てきているんだと。

それから、ここに太陽通信という温泉がありますが、これは全然塩分を含んでいない。ここにだけギュウギュウ押しても、こちらに本当に行くかどうかについて疑問がある。 \*\* (不明) \*\*

の方へは行くかも知れないけれども、こっちはあまり行かない。やはりこういう所を2点から3点分けてやれば、かなり断層面の抵抗を劣化させることができる。

質問) 実験の最中は、急に水が入りにくくなったということは、おしまいのほうではなかったんですね。

答) 第2回の時には、そういうことはなかった。むしろ、ますます良く入るようになっていった。第1回目の時は2回目の方がピークで、そのあとは急激に入らなくなった。

質問) 最初入りにくいのは詰まっているからなのか、それとも水を入れていくと、すでにある水を押し退けて行かなければいけないので、その運動エネルギーに \*\* (以下不明) \*\*。

答) \*\* (不明) \*\*, 中の方に入っているかも知れない。プレッシャーをかけて、そういうのが入っていると、これはくさびになる。今まで、かなり閉じていたところに入っているから、ある程度開く。開くとまた、こちら辺にある細かいやつがまた先に行く。そういうことが起こり得るかも知れないけれども、石油なんかで水攻めをやる時には意識的にやるわけですね。粒度の丸い砂を水と一緒に押し込んでやる。そいつがこの中に入り込んで、こいつを持ち上げる。持ち上げると、また今度平面的だから、横から丸いやつがまた先に行って、こういうように空ける。こうやって、中の割れ目を広げてやるという攻め方があるんです。

そうすると、それをやると中から \*\* (以下不明) \*\*。減圧してしまうと、ガスや石油が前よりどんどん良く出る。それと似た現象が起きたかどうかについては、あんまり自信ないです。

質問) さっきのお話しでは、1回目は1,300 m 以下ですね。破碎帯はもっと上にあった。大体1,000 m。第2回目の時は、ちょっと抜いたんでしょう。ケーシングを。

答) ええ、1本抜いたわけです。ちょうど破碎帯にぶつかったのです。

第1回は、あんまり入らないと思っていた。それでもよく30トン入った。いくらぐんぐん押しても、だいいち遠くに行かないし、それで第1回目は入らないことを見たらすぐに止めようと思っていたんです。しかし、あんまりすぐに止めてはいけないから、理屈は何もないけれども3昼夜と決めたわけです。第2回の時は、あそこには破碎帯があるから、一桁ぐらい余分に入るだろうと・・・。

質問) 第2回のは、第1回に入った所には入っていなかったかも知れませんね。

答) 入っていないと思います。

質問) 新しい破碎帯に入ってしまった。

答) はい。下の方にはほとんど入っていないと思います。だから、水を押ししたことによって水みちが開いていったということはある得ると思います。実際、第2回の時には、ケーシングの下の方しかセメントで止めていないから、ここから入れたやつの一部は、ここをまわって上に出てくる可能性があった。

質問) ケーシングは別に抜かなかったんですか。

答) ケーシングは、全部で6インチのが115 m まで、127 が 399 m、それから186 が 1,072 m、73 が 1,334 m まで。これは、みんな何重にも入っているわけです。第1回は、この下は64の“はだか”になっている。裸孔になっているわけです。第2回目には、こいつを抜いたわけです。その時、こちらから回って出てくるやつがあり得るので、初め温度を測らせた。ところが温度では分からないので、あとでは抵抗計で \*\* (以下不明) \*\*。こちらは無限大に近いくらいですから、

抵抗計で混ざっているかどうかを測った。

その時、5℃以下の水を突っ込むと、周りからある程度湧水があったけれども、これが途端に減少してしまう。5℃の水で鉄管自体が冷やされる。1,100 m あるケーシングが30 cm くらい縮んでしまう。ぐんぐん縮まってしまって \*\* (不明) \*\* 、周りから出てくる水も、どんどん温度が下がって6～7℃ぐらいになった。出る量もうんと減ってしまうんです。冷やしてやると、ここは炭酸ガスの影響が随分あるものですから、炭酸ガスの出が途端にもものすごく悪くなって、水の出る量が減ってしまう。

**質問)** 第1回目の時は、第2回目に入る破碎帯をケーシングで押さえたから入らなかったんじゃないでしょうか。

**答)** そうです。破碎帯を押さえて入らないようにして、この下にある単なる割れ目に押し込んだわけです。その次にはこれを取ってしまった。ガサガサのゾーンに入れたわけです。そういう破碎帯だから、水を入れることによって、この中にある細かいものは、向こうの方に持っていかれたかも知れなし、ここのクラックの割れ目がある程度開いた。たぶん、そうだと思います。

**司会)** 長いこと、ありがとうございました。