

東大地震研究所 ○伯野元彦, 筑波大学 藤野陽三, 東大地震研究所 片田敏行

1. はじめに

今回の伊豆大島近海地震により、中外鉦業持越鉦業所のほうずき沢鉦さい堆積場の土のかん止堤2個が破壊し、内側に堆積してあった鉦さいのうち、それぞれ約8万㎡、約3千㎡が流出し、持越川を経て狩野川に合流した。この鉦さいは、金、銀などをとり出すため、それらを溶かす溶剤としてシアン化合物を使っているため、シアンを含んでおり、魚などに対する影響が心配された。

このかん止堤の位置は、図-1に示すように、伊豆半島中部であって、1月14日午後0時24分の本震によりオ1かん止堤が、翌朝午前7時31分の最大余震によって、オ2かん止堤がくずれた。

これら堤防は、河れも土でできており、その断面形状は、図-3にオ1かん止堤を示すように、もとの通常の堤防があり、その後、鉦さいがたまるにしたがって、土留め形式に土を上流側にかさ上げして行くというもので、鉦さいのかさ上げ形式としては、外国においても屢々用いられているようである。

日本においては、鉦さいかん止堤の被害は、初めてのことである。外国では1960年のチリー地震 ($M=8.3$) の際のEL Cobre鉦さいかん止堤を始めとして、二、三の被害例があるようである。著者の一人は、数年前に、個人的にこの種の堤防の地震時安定性について質問を受けたことがある。そしてその時は、鉦さいが液化しなければ、そして堤防も地震力を考慮して設計してあれば、大丈夫ですよ、と答えた覚えがある。

それが、こんなに早く現実のものとなるとは思わなかったが、その時の筆者の感じとしては、鉦さいというものは、鉦石の細かいもの、つまりコークスの細くなったようなもので、摩擦が非常に大きく、とても液化などするわけがないと思っていた。

ところが今回、被害を調査に行き、実際の鉦さいを手にとってみて、まず粒の細かいのに驚き、水分の多さにも驚いた。

また、鉦さいのかん止堤は、通産省の監督下にあり、我々土木屋とは縁の薄いこともあって、筆者らがその初めての被害にうろたえたという傾向もあったのであろう。しかし、国内には、数十のこの種の鉦さい堤防があるとのことなので、いまさら、俺の縄張りではないとは言うべきではなく、原因追究、今後の対策に皆で協力しなければならぬと思う。



図1 伊豆半島中部の活動層分布、都市分布、余震分布 (地震研、村井)

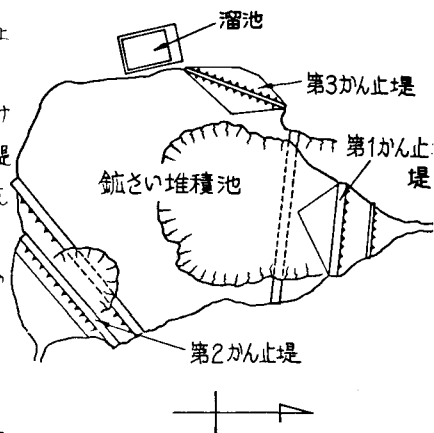


図-2 堆積場の平面図

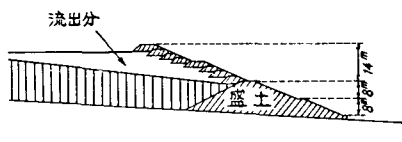


図-3 堆積場の断面図

2. 破堤の状況

破堤はオ1、オ2の両堤で起っているが、大規模なものはオ1 かん止堤の方であるので、議論は、オ1堤について進める。図-3から知られるように、破堤はかさ上げ部分がそくくり持つて行かれた恰好となっている。そして、鉱業所の現地の見張り小屋で目撃した人の話では、小屋の中で昼寝をしていたところ強い地震で起こされ、外に出たところかさ上げ底部にあたる堤体斜面がグッとふくれ盛り上がった、とうさに危ないと思い逃げたという。この話から、破堤は頂部から起こったのではなく、堤防本体とかさ上げ部の境界付近から起ったものかもしれない。破堤後の鉱さい表面には、写真-2に示すような、液化を証明する噴砂のあとが沢山見られた。



写真-1 破堤状況

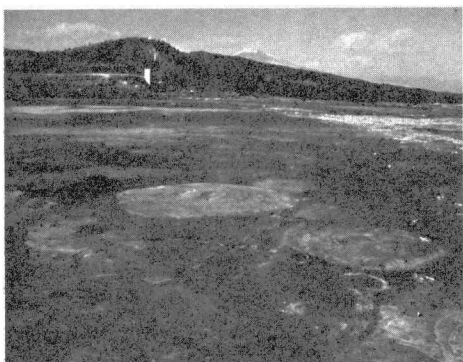


写真-2 液化にともなう Sand Volcano

3. 破堤の原因

考えられる原因としては、以下のものがある。

1) かん止堤が弱すぎた。←耐震設計がされている。

2) 地震が強すぎた。

。余震(震源)域に近い(図-1参照)(+)、

。山の上なので地形的な影響による地震動の増幅(+), 付近の墓石の倒壊 約70%(+),

。建物の被害ほとんどなし(-), 加減速の推定 200~250 gal,

3) 鉱さいの液状化

この現象が起ったことは、写真-2によっても明らかであるし、採取試料の砂箱振動実験においても液化し、現地の応急措置としての鋼矢板打込みの際にも液化現象が認められている。次に、液化の起った範囲、とくに深さについてであるが、新潟地震においては、15m~20mまで液化することがあると言われており、今回も、かさ上げ部分(約16m 高さ)をそくくり壊して流れ出ているので、少なくとも、この16mの深さまでは液化したものと言えよう。ではこのように鉱さいが液化した場合、堤体とくにかさ上げ堤防に対して、どのような不利が考えられるかを以下に述べる。

(1) かさ上げ堤防が不安定となる。——→ このかん止堤のかさ上げ方式は、図-3に見るように、いわゆる斜面に沿って積み上げてゆく石垣などと同様な構造となっているが、この構造は、背後の鉱さいが液体に変わった場合には不安定となる。

(2) 鉱さい静止圧の増加。——→ 飽和した土であっても、土粒子間の摩擦力、粘着力が作用している間は、側方に加わる土圧は水压と考えた場合より数十%は少ない。液化するとその分が増加する。

(3) 不完全液化土圧 ——→ 土は地震によって液化する場合、強固な土から一瞬のうちに液体に変わるものではない。粒子間の間隙水压が徐々に上がり、粒子間の結びつきが弱くなり、ついには離れればなれになり液体のようになる。今回の鉱さいのようにシルト質であると、砂とは異なり、かなりの間不完全液化、すなわち、軟化した状態が続く。その状態では振動変位は大きく堤体に加える力も大きくなる。

(4) 動水圧 ——→ 土が完全に液化すると、ダムに加わる動水圧と同様な力加わるようになる。

以上の原因のうち、どちらかと言えば 3) の鉱さいの液状化の影響が強いのではないかと考えている。