

(研究題目)

### 地盤振動の軽減方法とその効果

(研究者) 東畑郁生、東京大学工学部土木工学科教授

Ikuo Towhata, Professor of Civil Engineering, University of Tokyo

桑野二郎、東京工業大学工学部土木工学科助教授

Jiro Kuwano, Associate Professor of Civil Engineering,  
Tokyo Institute of Technology

永瀬英生、九州工業大学工学部設計生産工学科助教授

Hideo Nagase, Associate Professor of Design and Industrial  
Engineering, Kyushu Institute of Technology

### 3. 英文要約

An attempt was made to mitigate a traffic-induced ground vibration that is hazardous to facilities which need vibration-free environments. Since the ground vibration consists mainly of surface waves, a trench with a balloon installed in was employed as a measure for isolation. By running field measurements of ground vibration with and without a balloon, a design chart was obtained that helps determine the size of desirable balloons for practice.

### 4. 邦文本文

#### 4.1 研究目的

地盤振動は、以前から公害の一つに数えられ、環境に対する障害として認められてきた。振動の原因には、大型機械の稼働、建設作業などさまざまなものがあるが、操業のレベルを調節できるもの、あるいは短期間で振動発生が終わるものは、問題の度合いが低い。半永久的に振動を発生し続けるもの、振動のレベルを制御しにくいもののほうが、問題の根が深い。交通荷重、なかでも道路の自動車によって発生する地盤振動は、その例である。

都市域の自動車増加は時代の必然であり、台数を減らす試みの多くが過去、失敗に帰してきた。自動車に関連する問題の解決は、共存を探る視点から立案されるべきである。地盤振動の関連では、都市域の道路拡張で一挙に交通量が増すと、周辺で振動レベルが増え、感覚的に不快であるという反応から始まって、家々の壁に亀裂が走る、製造機械の精度に狂いを生じる、など、いろいろな障害が訴えられるようになる。

本研究の目的はこのような地盤振動を遮断して道路敷地内にとどめ、周辺への影響を軽減する方法を探ることである。具体的には、地盤に溝を設けて地盤振動の伝播を妨げることを試みた。この溝の中に風船、鉍石、発泡スチロールなどを挿入して振動遮断効果を比較した点に研究の特徴がある。

#### 4.2 研究経過および成果

#### 4.2.1 風船による交通振動遮断の概要

本研究は、さまざまな手法の振動遮断効果を原地盤で直接測定した。中でも風船を埋設する方法に重点を置き、その他、重い鉄鉱石、軽い発泡スチロール壁の埋設についても比較検討した。

従来Woodsらによって行なわれた研究では、空溝を設けるとその背後で地盤振動が軽減されることが判っている。これは、地盤振動が地表面に沿って伝わる表面波からなっていたからである。交通振動も表面波の伝播によって引き起こされるので、同様に空溝が有効である、と予想できる。

他方、空溝には維持管理上の問題がある。溝が崩れるのを防ぐためにはコンクリートなどの土留構造が必要である。背面の土圧に対抗するためには、ある程度の剛性を持った土留構造でなければならない。これにはある程度の建設経費がかかり、出費に値すると判断された場合しか実現不可能である。広く一般に普及する振動軽減法であるためには、さらに簡便に設置でき、かつ空溝と同等の効果を達成する必要がある。この条件を満たすものが、風船を空溝に埋設する方法である。

図1は、風船の概念図である。溝に平たい板状の風船を埋めることを考えている。本研究ではビニール製の風船を用いたが、実用的にはもっと耐久性のあるステンレス膜で作ったもののほうが良いであろう。風船はそれ自体剛性を持たない。周辺地盤に変形が起ころしても、風船は壊れることなくこれに追随できる長所がある。

内部には空気を満たす場合と水を充填する場合があるが、どちらでも効果に大差はない。風船の内部には圧力を加え、周辺土圧に対抗する。圧力を発生させるためには、空気圧コンプレッサーを運転し続けるか、または水のヘッドを利用する方法があるが、後者の方が運転経費がかからない分、有利である。風船の口には逆流抑止弁をつけて風船が側方土圧によって押しつぶされるのを防止するが、内部に水を満たした場合のみ、逆流抑止弁が可能である。また後述するように、風船内部に発泡スチロールの粒子を充填し、地盤破壊時の極限土圧（静的／動的）を側方へ伝達させ、地盤支持力を損なわないようにする。

風船による地盤振動の遮断は、ドイツ国鉄はじめ、いくつかの先例がある。しかし、詳細な性能実験はまだなされておらず、本研究で行なったような、振動低減効果と風船寸法との関係（設計に必要な情報）にまで踏み込んだ研究は、前例が無かった。

#### 4.2.2 野外実験の方法

振動遮断効果を測定する実験を、千葉県野田市の東京理科大学野外実験フィールドで行なった。長さ1.5ないし3m、深さ0.9m、幅30cmの溝を掘って風船を埋設した。その前方2mの地点に振動源を置き、ここで発生した地盤振動の伝播が風船によって遮断され、風船の後方では揺れが小さくなる様子を観測した（図2）。振動源には二通りあり、掛け矢（ハンマー）で地表を鉛直に打撃する方法と、起振機で定常正弦波荷重を鉛直または水平に作用させる方法を用いた。前者は多数の周波数成分を含む衝撃加振であり、レーレー波を発生している。また後者は発生周波数を制御することができ、鉛直荷重ではレーレー波、水平荷重ではおそらくラブ波的な振動を発生している。振動測定にはジオフォーン（速度計）を用い、主として地表面の振動（鉛直／水平）を測定した。

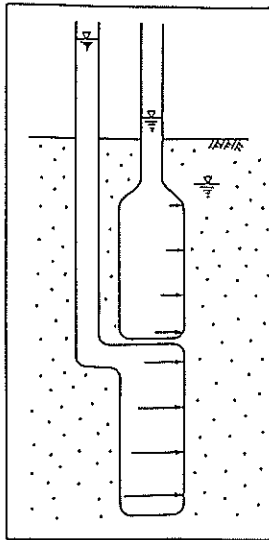


図1 埋設風船の概念図

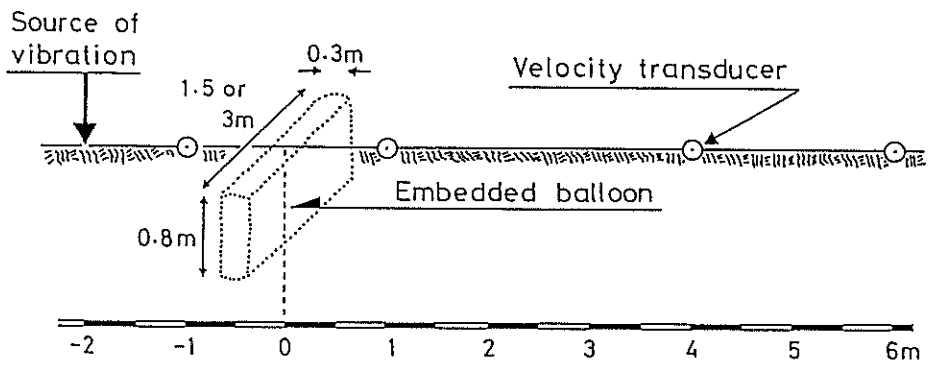


図2 振動遮断実験の機器配置

#### 4.2.3 風船による振動遮断効果の実験結果

図3は、掛け矢によって発生した衝撃型地盤振動（鉛直加速度振幅）が、長手方向に減衰する様子である。風船は1m地点に埋設されており、その手前では、風船を埋設したほうが無対策地盤よりも振幅が大きくなった。これは、風船によって反射された振動が入射波と重なり、振幅を大きくしたのである。他方風船より後方2m地点では、風船が空気封入の場合と水封入の場合を問わず、振幅が無対策の場合の半分以下になった。しかしさらに遠方5ないし7m地点に至ると、風船の効果に見るべきものがない。これは、風船の下方や側方から回り込んで来る波の影響である。このように、風船の効果は、その後方一定の領域に限られる。

同様の観測を水平加速度振幅、あるいは速度振幅についても行ない、同じ結論を得た。さらに、振動観測波形をフーリエ解析して振動数成分に分解し、それぞれの減衰を調べた。

掛け矢打撃による起振は、振動の発生が現実の自動車振動の発生に似通っている、という長所がある。しかし他方、人力に頼っているので起振エネルギーが毎回微妙に異なり、相互比較に問題がある。かつ振動数を制御して波の波長と風船の寸法に基づいて振動遮断効果を比べることもできない。そこで起振機を使用して正弦波形の鉛直/水平加振実験を行なった。

別途実施した測定により、この地点では振動が地表に沿って秒速70mで伝わるということがわかっている。それに比して10Hzの加振では、風船の効果が無かった。しかし周波数が40Hzに高まると、波長が短くなり、風船の寸法が相対的に大きくなる。すると前述の波の回り込みが小さくなり、風船後方で振動が軽減された。

以上の観測から、風船の振動遮断効果は風船寸法と伝播する波の波長、および風船からの距離に影響されることがわかった。実際に風船を設置するときにはこれらの条件を考えて風船の寸法を決定する必要がある。寸法のうちで横幅は十分大きく設置されるものと仮定した。すると風船の深さが重要となる。図4は、掛け矢のような鉛直衝撃加振に対し、風船の深さと振動低減効果のある範囲を示したものである。それぞれ波長で正規化されている。無対策地盤に比べて地盤振動が2分の1以下になった場合を効果ありと認め、図に示した。実用上は、振動低減の要求される範囲（横座標）が指定されると、図中の曲線が必要な風船の深さを与える。同様の図は、速度振幅や定常加振についても作成した。

#### 4.2.4 補足実験の結果

図1で明らかのように、流体を詰めた風船にはせん断抵抗がない。すると風船を設置した基礎の支持力が不足するのではないかと、との懸念が生まれた。これに対し、風船のなかに受働土圧程度の圧力をかけることにより、土圧を側方に伝達し、強度を増すことができる。さらに風船中に発泡スチロールの粒（ビーズ）を詰め、土圧の伝達を確実にする。この状態でも振動遮断効果には遜色ないことを実験によって確認した。

風船の代わりに発泡スチロール板を埋設した。その振動低減効果を空溝、水を満たした溝と比較した。結果に大差は無かった。

風船にせよ空溝にせよ発泡スチロールにせよ、いずれも軟らかな、インピーダンスの小さい対策である。次に、重い鉄鉱石を壁状に埋設し、インピーダンスを大き

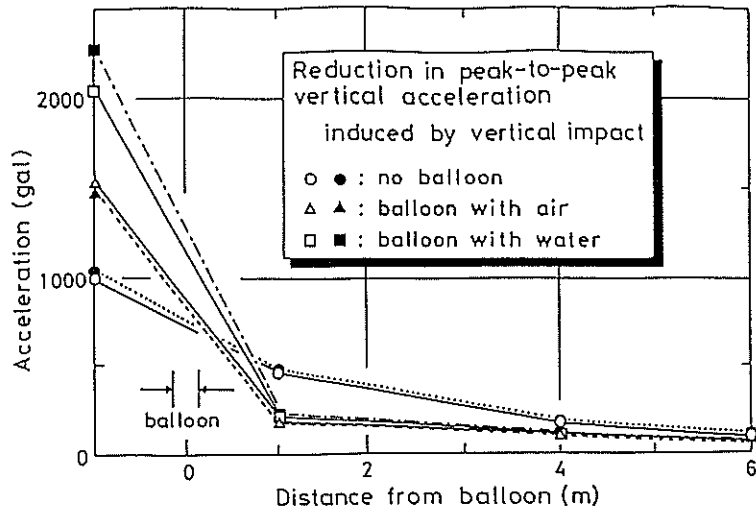


図3 掛け矢振動の風船による減衰

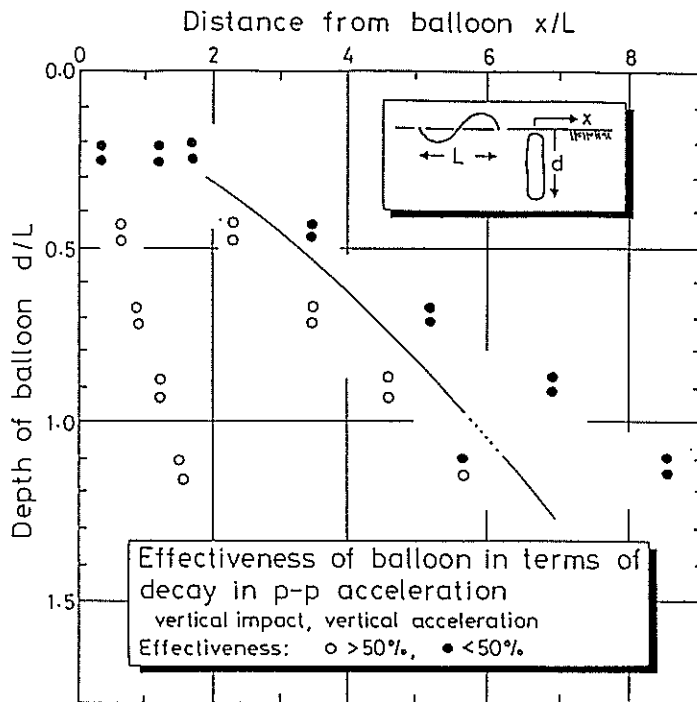


図4 衝撃加振、鉛直加速度の低減に基づく指針図

くしてみた。鉄鉱石は粒状体なのでせん断定数は小さく、地盤振動を遮断する効果を期待した。観測結果によると、鉄鉱石をゆるく詰めた場合には、かなりの遮断効果が認められた。しかし締固めた鉄鉱石では、効果が減少してしまった。鉄鉱石は参加するので、実用には向かない。これと同等な、重くてかつ酸化しにくい粒状体を見い出す必要がある。

#### 4.2.5 まとめ

交通荷重によって発生する地盤振動を軽減する方法の研究を野外実験を通じて行なった。研究は設置の簡便な風船の埋設を中心にした。観測結果から設計指針図を得た。これを用いると、実用に際して風船の寸法を容易に決定することができる。

### 4.3 発表論文リスト

桑野二郎、駒延勝弘（1992）振動伝播の軽減に関する実験、第47回土木学会年次学術講演会1、pp.608-609。

三宮隆、東畑郁生、衣川寛之（1993）地盤振動の遮断技術に関する野外実験、第28回土質工学研究発表会1、pp.11261-1262。

永瀬英生、東畑郁生、小林圭、石田恵一（1994）風船の繰返し膨張圧を受ける粘性土の圧密促進効果に関する模型実験、第29回土質工学研究発表会講演集1、pp.339-342。

桑野二郎、今村芳徳、斎藤知哉、北ノ園久光（1994）防振壁による地盤振動軽減対策、第49回土木学会年次学術講演会1、pp.644-645。