

第31回

地盤振動の 評価方法と対策

はじめに

地盤や建物などの生活環境には、工場や建設作業、道路交通、鉄道、地震、風などさまざまな原因により大なり小なり振動が常に生じています。強い地震などを除いた日常的な振動を環境振動¹⁾と呼び、列車が走行する際に沿線に生じる環境振動を鉄道振動と呼びます。鉄道振動は場合により環境問題となることがあり、鉄道事業者ではこれまでにさまざまな対策を講じてきました。

鉄道も含め事業者や管理者による環境振動の評価や対策は地盤での振動を対象に行われますので、本稿では地盤での鉄道振動の評価方法や対策の変遷について述べます。

地盤振動の測定・評価

環境振動については、第二次大戦前より工場振動と建設作業振動を中心にある程度の規制が行われていました。当初は事前規制に重点がおかれており、事後の規制は抽象的な規定にとどまっていたが、振動測定技術などの発達にともない、測定値にもとづいた定量的な規制が行われるようになりました²⁾。

列車走行により生じる振動についても、戦前からさまざまな測定や文献調査がなされてきました。戦前の文献では

埋設ケーブル³⁾や鉄道構造物など鉄道関係の設備への影響が主な調査対象となっており、戦後の文献では線増工事や輸送対象の変化（農産物→セメント）などに伴う沿線の地盤振動の調査事例が次第に多くなり、文献⁴⁾のように列車による地盤振動の基本的な性質を把握するための調査・報告もされています。この時期には、地盤振動の評価指標として振動加速度や振動速度の最大値などが用いられていました。

鉄道振動の調査・研究が精力的に進められる契機となったのが、1964年の東海道新幹線開業でした。新幹線の走行にともなう沿線の地盤振動が社会問題として取り上げられるようになり、沿線の振動の実態調査や現象解明、地盤振動対策の開発などが進められました。図1は1975～1976年度に国鉄が行った、東海道・山陽新幹線沿線の地盤振動の全国実態調査の際の測定風景で、測定には当時公害振動計と呼ばれていた振動レベル計とアナログ式のデータレコーダー（図1ではオープンリール式）が使用されています。この調査では、振動感覚特性を取り入れた評価量である振動レベルの最大値を評価指標として用いています。

1967年に制定された公害対策基本法で振動が典型7公害の一つと位置付けられたことなどを背景に中央公害対策審議会に諮問が行われ、1973年12月に振動規制を行うに当たっての基本的考え方等について答申が出されました。こ

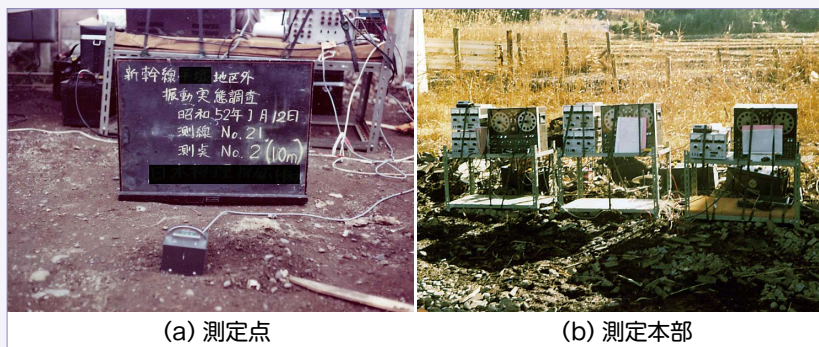


図1 40年ほど前の地盤振動測定



図2 旧形式の振動レベル計の例
(生産開始：1976年)



図3 現在使用中の振動レベル計の例



図4 新(左)旧(右)の振動レベル計

の答申では工場振動および建設振動、自動車の走行にともなう振動の規制などを行うために「振動規制法(仮称)」を制定するとともに、鉄道振動については別途騒音対策とともに総合的な対策によって措置するものとする位置付けられました²⁾。

その後、1976年3月に中央公害対策審議会の答申を受けて振動規制法案が閣議決定されるとともに、環境庁長官から運輸大臣あてに「環境保全上緊急を要する新幹線鉄道振動対策について(勧告)」(以下、環境庁勧告)が出されました²⁾。鉄道振動については公的な規制値は設定されておらず、この勧告に示された評価方法や指針値(70dB)が新幹線鉄道振動の一つの目安となっています。この勧告では、上下列車を合わせて、原則として連続して通過する20本の列車について、各列車が通過する時の振動レベルの最大値を測定することとなっています。また、評価は振動レベルの最大値の大きさが上位半数のものを算術平均した値で行われます。環境庁勧告以降は、新幹線鉄道振動の測定・評価はこの方法に基づいて行われています。

その他にも同年8月には振動レベル計の最初のJIS規格が制定され、12月には振動規制法が施行されるなど、1976年は現在の我が国における振動規制の基本的な形が策定された年でした。

地盤振動の測定器

鉄道振動などの地盤振動の測定には、微小地震用の地震計などさまざまな測定器が用いられてきました。古い例では、地震学者の大森房吉が微動計や強震計を使って橋りょう振動や橋桁振動、車両振動を測定しています(例えば⁵⁾)。

現在では、振動規制法の規制値や環境庁勧告の指針値等が「振動レベル(振動感覚補正をした振動加速度レベル、

補正加速度レベル)」で示されていることもあり、環境振動としての地盤振動の測定には振動レベル計が多く用いられています。国鉄での測定は、1975年頃から振動レベル計による測定・評価が中心になってきたようです。振動レベル計は振動レベルを測定するための測定器で、計量法に規定された特定計量器です。振動レベル計の最初の規格は、日本音響学会から1966年に原型が提案され、1970年に規格としてまとめられました⁶⁾。その後、1974年制定のISO2631(全身振動に対するばく露評価の指針)を参考にJIS C 1510₁₉₇₆(振動レベル計)が1976年に制定されました⁷⁾。JIS規格の振動レベル計では、音響学会推奨規格のものに対して

- ・振動感覚曲線として水平振動のレスポンスが追加された。
- ・速い動特性(速, fast)が削除され、遅い動特性(緩, slow)に相当するものだけとなった。

などの変更がなされました⁶⁾。なお、環境庁勧告はJIS規格制定前に出されており、古い規格を前提に「指示計器の動特性は緩(Slow)とすること」と記述されています。

図2は1976年に生産が開始された振動レベル計です。測定値はメーターに表示されますが直読は困難なので、レベルレコーダーという装置で紙に出力するのが通常でした。図2の装置は3成分(鉛直と水平2成分)型の振動ピックアップを3台接続できる高機能なタイプの装置ですが、出力(メーターおよび出力端子)が3つしかないため多点測定時には1成分ずつしか測定できない、温度などの影響で使用中に出力電圧がずれることがあるなど、技術的な制約も多い装置でした。

図3は我々が現在使用している振動レベル計の例です。基本機能は同じですが、本体、ピックアップとも大幅に小型化されています(図4)。また、測定可能な振動の大きさの範囲が拡大されているほか、電気的な安定性も向上して

います。

図5は最近の地盤振動測定風景です。図1の測定の頃と比べると、測定機器類が非常にコンパクトになっています。また、振動レベル計やデータレコーダーもデジタル化され、ダイナミックレンジや電気的な安定性なども大幅に改善されており、良質な振動データを大量に取得できるようになっています。しかし、測定器を地盤に設置するときには地盤をきちんと締め固めるか適切な治具を使用するなど、地盤振動測定の基本は昔も今も変わっていません。

地盤振動の対策

東海道新幹線開業を期に、地盤振動の現象解明と振動対策の技術開発が精力的に進められました。図6は、地中に壁や溝を作って振動を遮断する対策工法の試験施工を新幹線沿線で行った例です。また、東海道新幹線の振動の実態調査をもとに、山陽新幹線の建設時には標準設計の高架橋の柱を太くして重量や剛性を大きくし振動を減少させる対策が講じられました⁸⁾。

環境庁勧告の中で、新幹線鉄道振動の振動レベルが、70dBを超える地域について緊急に振動源及び障害防止対策を講ずることなどの指針が示されました。これを受けて、

当時の運輸省から国鉄に対して以下の指示がなされ、指示内容が1967年4月に環境庁に報告されました²⁾。

運輸省が国鉄に指示した内容は、(1) 振動源対策について、「振動の発生及び伝播の機構を解明すること」、「振動対策の技術開発を推進すること」など、(2) 既設新幹線について、「レール重量化及びバラストマット(図7)の敷設を促進すること」など、(3) 工事中新幹線について、「振動低減を図るため、沿線の環境、地形、地質条件等を勘案し、構造形式等の設計に十分配慮すること」などです。

国鉄は既に開業している新幹線について対策を講じるとともに、建設中の新幹線に既開業の新幹線での知見や試験線による各種の環境対策試験などの技術開発成果を盛り込んでいます⁹⁾。例えば、東北・上越新幹線では、小山試験線での試験結果などをもとに、山陽新幹線よりもさらに重量が大きく剛な構造形式が採用されています。図8は東北新幹線の大宮・盛岡間が開業したときのパンフレットです。1986～87年度に当時の環境庁が実施した全国実態調査結果の平均振動レベルを線区別に見ると、建設年代が新しい線区ほど振動が小さい傾向があり、これは設計段階で振動低減に配慮したことによると考えられます。

また近年では、両端に張出がある東海道新幹線のラーメン高架橋の振動対策として高架橋の端部を補強する工法¹⁰⁾が開発されるなど、振動対策の開発が続けられています。

軌道での対策として、山陽新幹線・岡山以西のバラスト軌道区間では建設時点でバラストマットが敷設されているほか、東海道新幹線および山陽新幹線・岡山以东のバラスト軌道区間でも、国鉄時代から計画的にバラストマットの敷設が行われています。その他にも、まくらぎの下

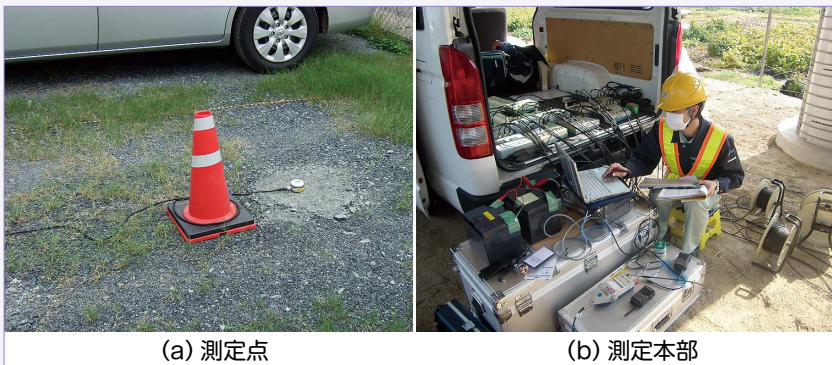


図5 最近の地盤振動測定

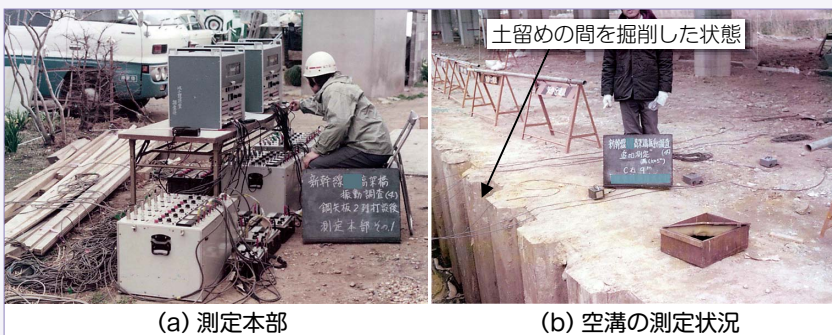


図6 振動遮断工の試験施工(1977年度)



図7 バラストマット
(バラストの下に弾性材のマットを敷設)

