

PCに関する試験および測定

入門講座

No.5

新設橋の実橋載荷試験

講師：加藤 雅史*

① はじめに

一般に橋梁を新設する場合、プレストレストコンクリート（以下 PC と略記）橋のみならず鋼橋や鉄筋コンクリート（以下 RC と略記）橋などにおいて、施工中や完成時に実橋載荷試験が多く実施されています。

実橋載荷試験は完成時だけでなく、供用中においても健全度調査等の種々の目的で最近非常に多く実施されるようになっており、今後さらに増えてくることでしょう。しかし、ここでは標題のように、橋梁を新設する際の実橋試験を中心に説明することとします。なお、供用中の橋梁で実橋試験を計画する場合にも、基本的な点では共通な部分が多いことから参考になると思います。紙面の関係で細部については各種の参考書や試験報告などを参照していただくとして、本文では実橋載荷試験を計画することを念頭に置き、その手順ならびに試験目的・試験方法について概要を説明します。

実橋載荷試験はその種類で見ると、「静的載荷試験」と「振動試験」に大別できます。振動試験を動的載荷試験と呼ぶこともあります。載荷という言葉が必ずしも適さない場合もありますので、ここでは振動試験と呼ぶこととします。以前は、PC 橋や RC 橋での振動問題は耐震性の問題以外あまり関係ないと思われがちでした。しかし、現在、また今後はこれらの橋梁でも振動の問題が大変重要となってきています。このことは後で触れたいと思います。

② 実橋載荷試験の計画

実際に現地での試験を行う場合には、まずその目的や

予算、工程、可能な載荷方法・加振方法、さらに現地の環境等を検討して、実橋試験計画を立てる必要があります。この計画書作成の中で計測項目等が決められ、実施に移されることになるわけです。図-1 に一般的な実橋試験計画の手順フローを示します。計画を立てる場合、まず「何を目的として実橋試験を行うのか」が重要で、その目的によって試験方法が全て変わってくると言っても過言ではありません。

目的が明らかにされれば、試験計画作成作業は静的載荷試験、振動試験ともほぼ同一の順序で各種の検討・選定・決定をしていくことになります。しかし、振動試験は動的試験であることから、フローの中に「対象振動数の決定」という項目が入るところに違いがあります。

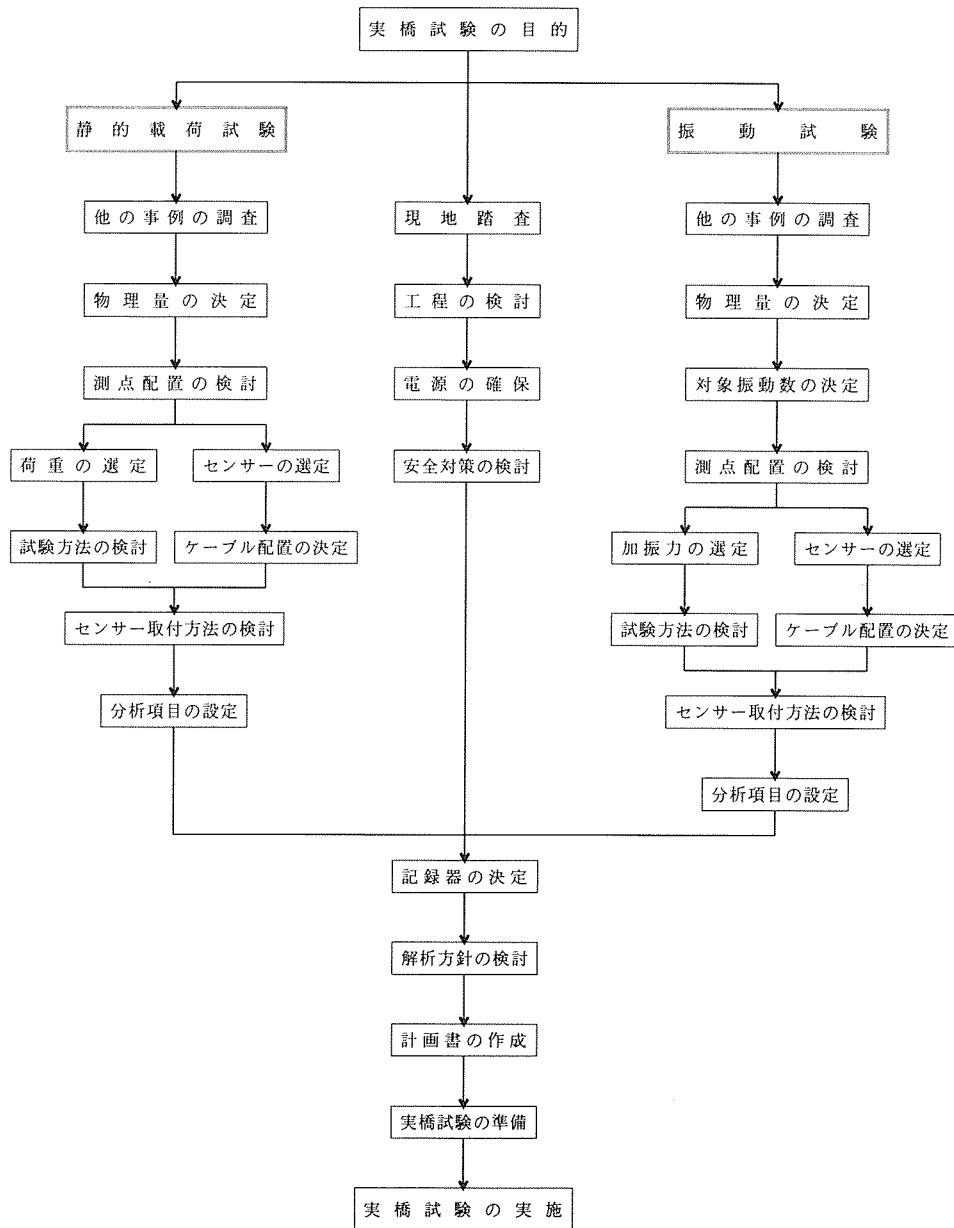
以下に、2 項目だけ若干の説明を加え、その他は静的載荷試験の方法および振動試験の方法の節で一部説明することとします。

(1) 事例調査と現地踏査

試験計画の作成は、静的載荷試験、振動試験とも目的が明確になったならば、まず他の事例の調査と現地踏査から始めることになり、これが非常に重要なことです。他の事例を調査したうえで現地踏査を行えば、経験豊富な技術者ならば現地踏査段階で試験計画の全体像をほぼ頭に描くことができます。現地踏査での調査項目には、次のようなものがあります。

- ① 現地構造物の形状や機能状況
- ② 路下道路、周辺民家の配置等の周辺状況
- ③ 試験実施のための足場の必要性
- ④ 電源の確保、計測機器の設置場所の確保
- ⑤ 試験実施時の橋面状況の確認
- ⑥ 電氣的なノイズ対策の必要性
- ⑦ その他

* Masafumi KATO：九州東海大学 工学部土木工学科 教授



図一 実橋試験計画の手順フロー

(2) 物理量の決定

物理量とは、「ひずみ」「振動加速度」などの目的に応じて実橋試験で計測する物理量のことです。

静的载荷試験では、「たわみ（変形，変異）」と「ひずみ」を計測物理量とすることが最も一般的で，これらの値を補正するために「温度」等を計測することもあります。また振動試験では，「振動変位（動たわみ）」「振動速度」「振動加速度」「動ひずみ」等を目的に応じて計測物理量とします。これに付随して「静たわみ」等を計測することもあります。

3 実橋载荷実験の目的

新設橋の施工時および完成時の実橋载荷試験の目的

は，一言で言うならば「設計時に用いた諸定数や模型実験結果を実橋で検証し，建設された橋梁の安全性を確認すること」です。さらに，新しい構造形式，新しい施工法，新しい材料などの橋梁では，「今後の計画・設計・施工に際しての実橋での資料を得ること」を目的とすることも多くあります。

具体的に，よく実施される試験目的を示すと次のような項目になります。

1) 静的载荷実験の目的

- 設計時に用いた剛性値の検証
- 局部応力の検証
- 模型実験結果の検証
- ゴム支障を用いた場合のせん断バネ特性や反力分散効果の検証

- 今後の設計ガイドラインのためのデータの収集
 - その他
- 2) 振動試験の目的
- 衝撃係数の検証
 - 設計時動的解析結果の固有振動特性の検証
 - 地盤と基礎との動的復元力特性の検証
 - ゴム支承を用いた場合の反力分散効果の検証
 - 動的局部応力の検証
 - 施工時のケーブル導入張力の管理
 - 斜張橋ケーブルやPC外ケーブルの疲労安全性の検討
 - 今後の設計ガイドラインのためのデータの収集
 - その他

これらは代表的な項目であり、各項目を組み合わせそれぞれの橋梁の特殊性や橋梁が位置する環境に応じた試験の目的を決めることになります。試験目的は計画当初に明確に設定しておかなければ、以後の計画に支障をきたすことになるので、十分吟味する必要があります。

4] 静的載荷試験の方法

施工中および完成時の静的載荷試験では、橋梁に何らかの方法で静的な荷重を加え、構造系としての変形や橋梁部材およびぶざいを構成する各材料の応力度を求めするために「たわみ（変位）」や「ひずみ」を実測することが一般的です。したがって、静的載荷試験は橋梁に関わる者にとって通常の設計・施工業務との関わりが深いので、比較的なじみやすく、また試験自体もそれほど難しいものではありません。そこで、以下に載荷方法の概略と試験に際しての注意事項を示しておきます。

(1) 載荷の方法

載荷には試験用車両やジャッキを使用するのが一般的です。試験用車両としては総重量20tfのダンプトラックが、ジャッキとしては必要な容量を有する油圧ジャッキがよく用いられます。

試験用車両を使用する場合には、計量して重量調整した車両を必要台数用意し、所定の位置に停車させれば載荷ができます。一方、ジャッキを用いる場合には反力をどこかで取ることが必要です。水平方向に裁可する場合には隣接する桁や橋脚に反力を取ることが多く、必要に応じて応力用の部位を載荷試験のために桁や橋脚に用意しておきます。また、施工中において1点に鉛直方向集中載荷する場合には、クレーンでコンクリートブロックを吊り下げ、これを反力としてジャッキで載荷試験を行った例もあります。

載荷荷重の大きさは、現地の状況や準備できる資材・機材などの制約の元で試験目的に適した大きさを選定す

る必要があります。すなわち、載荷荷重が小さく、計測物理量が計測の誤差範囲に入ってしまうと試験目的を達成することができません。一般に、橋梁のスパンが短く小規模な橋梁ほど、載荷試験結果のたわみや応力は設計計算に基づく値より小さくなる傾向があります。これは、支点条件等が実際には設計時に想定したとおりにはならないこと（設計では構造力学でいう可動支点であっても実際には水平移動しないこと等）や、設計で考慮しない地覆などの剛性がスパンの短い橋梁ほど影響するためです。

完成時の試験用車両を用いた載荷試験において、海外では設計荷重全部を載荷する試験も行われることがありますが、わが国では大きくても設計荷重の1/3～1/2程度の最下で行われます。試験用車両の載荷パターンとしては、図-2のような組合せが試験目的に応じて取捨選択されます。載荷パターン①と②は支間中間部で

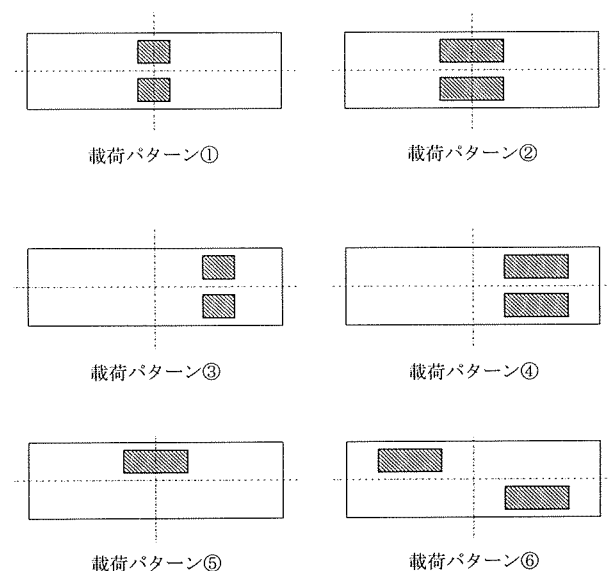


図-2 完成時静的載荷試験の載荷パターン例

の載荷で荷重の大きさを変えたもの、載荷パターン③と④は支点寄りでの載荷で荷重の大きさを変えたもの、載荷パターン⑤と⑥は偏心（ねじれ）載荷を示します。

(2) 静的載荷試験での注意事項

静的載荷試験を計画し実施する場合の注意事項を以下に列記しておきます。これ以外にも注意すべき点は多くあると思われ、現地での試験はやり直しができないものですので細心の注意と準備が必要です。

- ① 載荷用ダンプトラックは、総重量だけでなく前輪重量と後輪重量もそれぞれ計量しておく。降雨があれば積載した砂利などが水を含んで重量変化を起こすので、シートカバー等の準備もしておく。
- ② 試験用車両の載荷位置は正確に計測しマークして

◇講座◇

おき、車両の向きにも注意する。ダンプトラックは車種によって前後車軸の間隔が異なるので、カタログを取り寄せるか現地で計測しておく。

- ③ 測定点に設置するセンサーは、計測時に不良となったり計測データが不安定になるものが必ず出るので余裕を持った計測点配置をしておく。また、計測時に取替え可能なセンサーは予備品を準備しておく。
- ④ PC橋では、載荷後の時間経過とともに、測定値が変動することがあるので、モニター等で測定値が安定していることを確認して計測するのがよい。
- ⑤ 同じセンサーを使用して振動試験を行うこともあるので、その場合にはケーブルにシールド線を用いるなど振動試験の仕様に合わせておく。
- ⑥ 現場では自然相手の作業となるので、天候を考慮して余裕ある工程を立てる。また、気温変化が問題となる恐れのある場合には、気温や橋梁各部材の温度の計測も考える。

5 振動試験の方法

最初に少し触れたように、これまでPC橋やRC橋では耐震設計の面以外に振動はあまり関係ないと思われがちでした。これは、橋桁すなわち上部工の重量が重く、車両が走行しても風が吹いても鋼橋に比べてあまり揺れないことが理由であったと思います。

しかし近年、コンクリート強度はどんどん高くなり、1993年にはわが国初の設計基準強度1000 kgf/cm²という超高強度コンクリートを使用したPC歩道橋が建設されています。この歩道橋は支間が約40mと人と歩行と共振しやすい固有周期を有しており、桁高も鋼橋とほぼ同じ程度であるため揺れやすく、振動を抑えるための制振装置が取り付けられています。コンクリート強度を上げて上部工重量を軽くすることは、下部工の負担を軽減し総工費を低減するとともに、設計の自由度が増して様々な構造形式の橋梁が可能になるという利点があります。そして最近ではPC斜張橋や吊床版橋などが多く建設されています。しかし一方、軽いということは振動しやすいという結果になります。こうしたことから、PC橋でも今後ますます振動の問題が重要となるわけです。

また、斜張橋などのケーブル導入張力の管理には、固有振動数を測定して張力を求める振動法がよく用いられます。さらに斜張橋ケーブルの振動（レインバイブレーション等）や最近用いられるようになってきたPCケーブルの振動による疲労安全性の検討も必要となる場合があります。

一般に振動試験で直接求める固有振動特性としては、

固有振動数（または固有周期）、振動モード（固有振動形ともいう）、減衰定数（または対数減衰率）があり、さらに目的に応じて振動振幅（変位、速度、加速度、ひずみ）の大きさ自体を求めることもあります。以下に対象振動数、加振法、測定方法の概略および試験に際しての注意事項を示します。

（1）対象振動数の決定

振動試験では、計測対象とする振動数の範囲をまず検討して決定する必要があります。橋梁全体の振動を対象とする場合には、固有振動解析（固有値解析）結果や同種同程度の橋梁での事例を参考にし、計測したい振動モードも考慮して最も振動数の低い1次固有振動数から幾次の固有振動数までを対象にするかで振動数範囲を決定します。また、2次部材や局部振動を対象とする場合には、対象部材の振動特性によりますが、0～50kHz程度までが対象となることがあります。

しかしながら、解析結果と実橋では振動数にずれが生じることもあり、余裕を持った対象振動数を考えておくのが安全です。対象とする振動数の範囲を決めることによって、加振法や対象振動数範囲で良好な特性を持ったセンサーの選定が可能となります。

（2）加振法

振動を測定するためには、橋梁を何らかの方法で振動させる必要があります。実橋振動試験に用いられる加振法には多くの方法があり、種々に分類することができますが、測定しようとする振動の特性によって分類すると図-3のようになります。

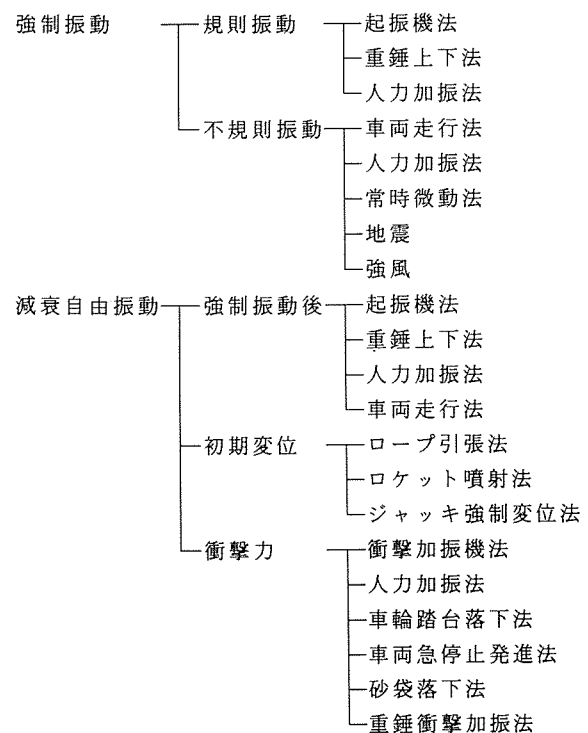


図-3 実橋振動試験における加振法の分類

振動は強制振動と減衰自由振動に大別され、強制振動は規則振動と不規則振動に分けられます。この振動の特性に対応して、その振動を起こさせる加振法があり、また、それぞれの加振法によって測定データの処理方法も異なってきます。各加振法には特徴があって、①試験の目的、②現地の制約条件、③経済的条件（費用）等によって使い分けられます。各加振法の方法・利点・欠点を一覧表にまとめて表一1に示しますが、振動試験実施に当

たっては2種以上の加振法を用いて試験結果の相互補完ならびに結果の比較を行うことが重要です。

(3) 測定の方法

振動を測定することは、一般に、測定点に振動測定方向に合わせてセンサーを設置し、センサーからのケーブルを測定既知の増幅機器類まで配線して、増幅器からの出力をデータレコーダ等の記録計に接続します。そして各種加振法で加振し、センサーで関知した橋梁各部の

表一1(1) 各加振法の特徴(その1)

加振法	振動特性			方法	利点	欠点		
	A	B	C					
起振機法	○			<ul style="list-style-type: none"> ・不平衡円盤を回転させた時の遠心力を加振力としたり重錘をクランクシャフトや電磁力で上下させて加振力を得る。 ・構造物とに任意の振動数の正弦外力を加えることができ、振動数を少しずつ変化させて共振曲線を求める。 	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的精度良い正弦波加振力を与えることができる。 ・共振曲線より振動次数ごとの固有振動数や減衰定数が比較的容易に求められる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・低振動数では十分な加振力が得にくく、加振正弦波形が乱れやすい。 ・起振機を設置する場所の占有や、起振機の運搬設置のための重機、運転のための電力等が必要である。このため供用中の橋梁では使用できないことが多い。 		
					○	<ul style="list-style-type: none"> ・加振によって共振状態にある時、起振機を加振を急停止させて、減衰自由振動を起こす。 	<ul style="list-style-type: none"> ・強制規則振動試験に付随して行うことができる。 ・各振動次数での減衰自由振動を起こすことができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・高次振動状態で起振機を急停止しても、完全停止するまでに低次の振動を励起し、減衰自由振動の中に他の次数の振動が混入する可能性がある。
重錘上下法	○			<ul style="list-style-type: none"> ・重錘をクレーン等で上下して加振力を得る。 ・クレーンを操作して構造物に正弦波に近い外力を加えることにより、振動数を少しずつ変化させて共振曲線を求める。 	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的容易に正弦波に近い加振力を与えることができ低振動数での起振機の欠点を補うことができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・精度のよい一定の振動数での加振は難しく、振動数を細かく変化させて共振曲線を求めることは難しい。 ・高い振動数の加振が難しい。 ・重錘を上下させるクレーンを橋梁上に用意する必要がある。 		
					○	<ul style="list-style-type: none"> ・加振によって共振状態にある時、クレーンを急停止させて、減衰自由振動を起こす。 	<ul style="list-style-type: none"> ・強制規則振動試験に付随して行うことができる。 ・各振動次数での減衰自由振動を起こすことができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・精度良く共振状態で加振しておくことが難しい。 ・高い振動数の減衰自由振動を起こすことは難しい。
人力加振法	○			<ul style="list-style-type: none"> ・一人あるいは数人で歩調を合わせて歩行したり、飛び跳ねたり、体を前後左右に動かしたりして、一定の振動数で加振する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・加振装置を必要とせず、数人の加振者だけでよい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・精度良い一定の振動数での加振は難しい。 ・大きな加振力を得ること、加振力を一定に保つことが難しい。 ・高い振動数の加振や、加振振動数を細かく変化させることは難しい。 		
					○	<ul style="list-style-type: none"> ・一人あるいは数人で適当に歩いたり走ったりして、ランダムな外力を与えて振動させる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・加振装置を必要とせず、数人の加振者だけでよい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・厳密にランダムな加振は難しく、データ処理に注意を要する。
					○	<ul style="list-style-type: none"> ・上記の強制規則振動加振あるいは強制規則振動加振で急激に加振を止めたり、人が飛び跳ねて減衰自由振動を起こす。 	<ul style="list-style-type: none"> ・強制規則振動試験や強制不規則振動試験に付随して行うことができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・複数の振動次数について結果を得るのが難しい場合がある。
車両走行法	○			<ul style="list-style-type: none"> ・試験車両の走行や、一般車両が走行している時のランダムな外力によって振動させる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・特別な加振装置を必要とせず、必要に応じて試験車両を用意すればよい。 ・供用中の橋梁で簡便に用いることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・車両の重量が不可質量として無視できない場合には、得られた結果に注意を要する。 ・車両自身の固有振動が加振力として卓越するので結果の判断に注意を要する。 		
					○	<ul style="list-style-type: none"> ・走行車両の走行のちには減衰自由振動となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・強制不規則振動試験に付随して行うことができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・複数の振動次数について結果を得るのが難しい場合がある。

注) 振動特性欄の記号は次のようである。 A: 強制規則振動 B: 強制不規則振動 C: 減衰自由振動

表一（２） 各加振法の特徴（その２）

加振法	振動特性			方 法	利 点	欠 点
	A	B	C			
車輪踏台落下法 車両急停止発進法			○	<ul style="list-style-type: none"> 大型車両等の車輪の踏台の上に乗りに上げておき、踏台から落下させその衝撃によって減衰自由振動させる。 走行車両を橋梁上で急停止させたり、急発進させ、その衝撃によって減衰自由振動させる。 	<ul style="list-style-type: none"> 特別な加振装置を必要とせず。試験車両を用意すればよい。 	<ul style="list-style-type: none"> 車両が橋梁上にあり車両の重量が不可質量として無視できない場合には、得られた結果に注意を要する。
常時微動法		○		<ul style="list-style-type: none"> 橋梁の周辺には、自然的・人工的な原因により常時微動が存在し、これによって橋梁は恒に微少なランダム振動をしている。 	<ul style="list-style-type: none"> 特性の良い振動計測機器があれば、加振手段を必要としない。 供用中の橋梁でも簡便に用いることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 微振動であるため、ノイズ等計測に注意を要する。 データ処理方法によって結果が影響を受けることがあるので注意を要する。
地震・強風		○		<ul style="list-style-type: none"> 地震時や強風時には、橋梁がランダム振動する。 	<ul style="list-style-type: none"> 橋梁の耐震性や耐風性を実地で得ることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 突発的現象であるため、長期観測によらざるを得ず、他の加振法のように試験として行うことができない。 計測器等の安定性や信頼性に注意を要する。
ロープ引張法			○	<ul style="list-style-type: none"> ロープで引っ張って初期変位を与え、この変位を急激に開放して減衰自由振動を起こす。 	<ul style="list-style-type: none"> 反力が取れば比較的簡単な作業と短時間で測定することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 変位を瞬間的に開放することが難しく、ノイズを含んだ振動となりやすい。 大きな力で引っ張るためにはアンカーが必要である。
ロケット噴射法			○	<ul style="list-style-type: none"> ロケットの推力によって初期変位を与え、この変位を急激に開放して減衰自由振動を起こす。 	<ul style="list-style-type: none"> 目的に応じて推力と燃焼時間を変え初期変位を制御することができる。 推力は比較的正確な矩形波となり、ノイズの少ない減衰自由振動が得られる。 	<ul style="list-style-type: none"> 噴射時に火炎と大きな騒音を発生するため周辺の環境への影響が大きい。 ロケットの燃料が高価である。
ジャッキ強制変位法			○	<ul style="list-style-type: none"> 急速開放機能を有するジャッキで初期変位を与え、この変位を急激に開放して減衰自由振動を起こす。 	<ul style="list-style-type: none"> 目的に応じて初期変位を制御することができる。 複数のジャッキを用いれば目的に応じた振動モード形の初期変位を与えることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 特殊な機能を有するジャッキが必要である。 ジャッキの反力を取るための設備が必要である。
衝撃加振機法			○	<ul style="list-style-type: none"> 2度打ち防止装置を有するハンマーで加振点を打撃して減衰自由振動を起こす。 ハンマーは加振点で荷重計の上から打撃し、加振力のデータも記録する。 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的簡単な作業と短時間で測定することができる。 一定の加振力で繰返し測定ができる。 減衰定数がかかなり精度良く測定できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 低振動数成分が得にくく、衝撃持続時間を長くすると衝撃力が小さくなり、長大橋梁のに適用することは難しい。
砂袋落下法			○	<ul style="list-style-type: none"> 加振点で砂袋を落下させて減衰自由振動を起こす。 	<ul style="list-style-type: none"> 特別な装置を必要とせず、簡単に短時間で測定することができる。 荷重計を置いた上に落下させれば衝撃加振機と同様の処理ができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 大きな衝撃力を得るには高い位置から落下させるか、重い砂袋が必要であり、クレーン等を用意する必要がある。
重錘衝撃加振法			○	<ul style="list-style-type: none"> ロープに吊り下げた鉄球で加振点を打撃して減衰自由振動を起こす。 	<ul style="list-style-type: none"> 大規模な装置を必要とせず簡単に短時間で測定することができる。 荷重計を設置した点で打撃すれば衝撃加振法と同様の処理ができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 大きな衝撃力を得ようとすると橋梁本体を破損させる恐れがある。 水平方向加振にしか適用できない。

注）振動特性欄の記号は次のようである。 A：強制規則振動 B：強制不規則振動 C：減衰自由振動

時々刻々変動する振動データを電圧信号として記録することです。

振動を捉えるセンサーは、振動計と言われる加速度計・速度計・変位計が一般的です。それぞれについて、各種の原理を応用したタイプの機種、振動振幅の大きさに対応した機種があります。また、ひずみゲージをセン

サーとし動ひずみ増幅器を用いて振動を測定することもよく行います。静的試験に使用するセンサーであっても、対象振動数の範囲において良好な応答特性を有しておれば、そのまま振動試験に使用できるわけです。

記録計としては、音楽用のテープレコーダの高級品とも言えるアナログデータレコーダが従来からよく使用さ

れております。しかし、最近ではアナログ信号をデジタル信号に変換する機能(AD変換)を備えたデジタルデータレコーダも一般的になってきました。さらに、現地で振動データをAD変換してパーソナルコンピュータに直接取り込み、フロッピーディスク等に記録する方法も用いられます。

(4) 振動試験での注意事項

静的載荷試験での注意事項に示したことは、そのまま振動試験を実施する際の注意事項でもあります。しかし、振動試験では動的試験であるがために特別に注意すべき事項があり、それを以下に幾つか記しておきます。

- ① 加振位置は、計測対象とする振動モードを考えて選定する。すなわち、振動モードの節になる位置で加振しても、その振動を起すことはできないので、加振位置を複数箇所となる等の注意を要する。測定点の位置も同様に振動モードが得られるように配置計画を立てる。
- ② 使用するセンサー、増幅機器類、記録計それぞれが対象振動数範囲で良好な応答特性を有しているばかりでなく、各機器の入力インピーダンス・出力インピーダンスが適切であるように計画準備する。
- ③ 振動データはセンサーから記録計まで電気信号として伝えられるので、電源ケーブルや周辺の電氣的設備機器などによる電氣的ノイズに十分な注意を要する。このために、ケーブルにはシールドケーブルを使用し、アース端子を確実に接地しておく。
- ④ 振動試験では、データは直接目で見えない形で記録されるので、測定の際には必ず測定波形をモニ

ターして、増幅の程度やノイズの状況などを監視する。

- ⑤ 一般に、測定データの処理や結果の取りまとめにはかなりの時間を要するが、試験を失敗に終わらせないため、現地で簡単な処理を行い良好なデータが測定できていることを確認するのが望ましい。
- ⑥ 現地での波形のモニタリングや簡単なデータ処理の結果によっては、測定点や測定ケースの変更など柔軟に対応できるよう準備しておく。

6 おわりに

紙面の都合上、本文では実橋載荷試験を計画することへの入門を念頭に置いて、静的載荷試験と振動試験の概要を説明しました。

特に振動試験については、まだまだなじみが少なく難しいものとの感覚を持つ人々が覆いと思われれます。確かに、ある程度の経験とテクニックを要しますが、もう現在では特定の者だけが実施するという時代ではありません。多くの書籍も出版されています。例えば、「橋梁振動の計測と解析(技報堂出版、1993年)」(残念ながら完売して現在では書店にありません)等には詳しく説明が書かれています。また、実橋振動試験の論文や報告も多くありますので、参照していただきたいと思います。

最後に、本文を執筆するに際しては、幾つかの貴重な書籍および論文を参考にさせていただいたことを付記しておきます。