

## タイ国・鉄道橋の紹介と鉄道橋の新しい健全度診断

佐々木 秀弥<sup>1)</sup>

平成4年3月初めから1ヵ月間、鉄道橋の専門技術者として、タイ国鉄SRT(State Railway of Thailand)に、鉄道橋の検査、保守に関する技術協力にJICA(国際協力事業団)より派遣となり、長期に亘る海外出張を行った。

タイ国の首都バンコクでの生活、ならびにタイ国の鉄道橋の検査を、各線各地区にわたって実施することができたのは貴重な体験となった。

本文では、タイ国の鉄道橋の特徴などを紹介すると共に、新しい診断機器(BMC診断システム)を用いた、鉄道橋の健全度診断方法などについて報告する。

### はじめに

JICA専門家としてタイ国に海外出張が決まって、ガイドブックを見て心配になった。タイ国の首都バンコクはおおよそ北緯14度、東経100度、マレー半島のつけねメナム河がシャム湾に注ぐ河口付近にあって、タイ国のほぼ中央に位置し、気候は年間を通じて平均最高気温が30度以上の熱帯地域で、雨季(5月から10月)、乾季(11月から4月)が明確で、雨季には20日余りも激しいスコールがある。寒い日本から暑いバンコクに急に変わって体が慣れるか、また、タイ料理の辛い食べ物は大丈夫かなど生活面の不安があった。しかし、バンコクには多くの日本人が生活しており、我々が滞在するホテルも日本人向きで、王宮寺院近くの環境の良い場所と決まって安心した。

今回のSRTにおける仕事は、鉄道橋の保守のための検査に新しい計測管理方式を取り入れるにあたり、その一つとして日本で実施している健全度の診断方法を導入することになり、そのための技術協力であった。バンコク到着後、SRT本社を訪ね、副総裁をはじめ、SRT幹部に表敬訪問を行った(写真-1, 2)。さっそくカウンターパートと、業務計画と日程の打合せを行って1ヵ月間のプランを作成した。我々のSRTでの1日は計画部長室でのモーニングコーヒーから始まり、ここで20~30分程度のミーティングで、業務の打合せと確認を行った。SRTの幹部は早朝出勤者が多く、我々もバンコク市内の異常な道路混雑を避けるため、8時頃には本社事務所に到着するように出勤した。橋梁調査で地方に出かける朝は、未だ暗い早朝5時の出発であった。

SRTの鉄道線路は、4主要路線から成り(図-1)鉄道橋の調査は、バンコク近郊と北線は終点近くの

ランバン付近まで、南線はバンコクより530kmのチュンポン付近までと、北東線の一部にまで出かけ、約30橋梁の調査を行った。同行者はJR東日本安全研究所・小林俊夫氏で建造物検査の測定機器取扱いの専門家であり、鋼橋の計測部門を担当した。

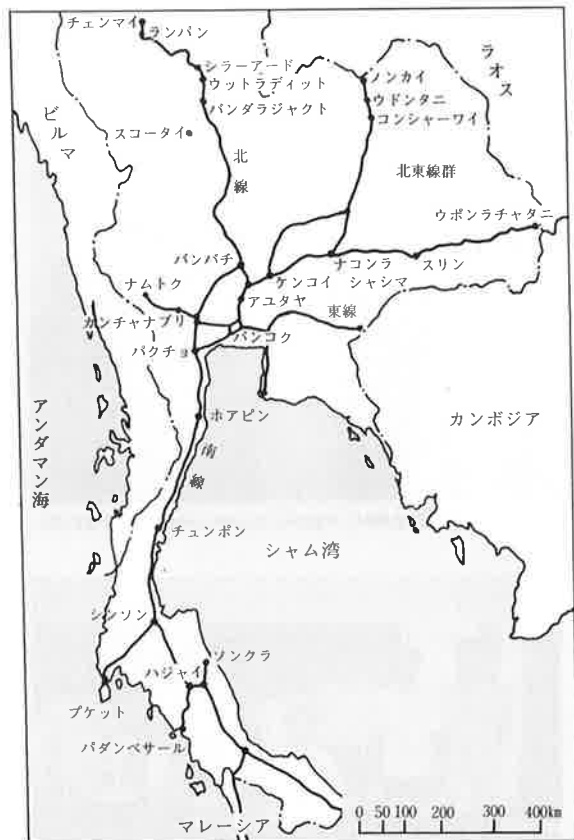


図-1 タイ国鉄道線路略図

1) 橋梁営業本部部長代理

## 1. タイ国鉄と技術協力

### (1) タイ国鉄の概況<sup>1)</sup>

タイ国の鉄道は1890年(明治23年)政府の一部局として発足となり、開業は1892年(明治25年)で日本の鉄道開業よりややおけている。1951年(昭和26年)に独立した公共企業体になり、タイ国有鉄道法の制定により運輸通信省の監督下において、SRTの管理運営となり現在に至っている。SRTの営業線路延長は1992年現在3861kmでその大部分は単線である(複線区間はバンコクからバンパチまで約90km)。鉄道路線はバンコクから放射状に、北線、北東線群、東線、南線とそれぞれの方向に伸びている(図-1)。軌間は開業当時1435mmであったものを、1900年(明治33年)以後、イギリスの援助によってマレーシアやビルマ(ミャンマー)の鉄道に合わせて1000mmの軌間で建設された。現在ではマレーシアやシンガポールからバンコクまで直通運転している列車がある。タイ国内の列車運転回数は1日に30回前後の本数で、日本と同様にSLはDLに代っており、電化区間はなくディーゼル機関車、ディーゼルカーにより運転されている(写真-3)。

### (2) 技術協力

SRTに対する日本の技術協力は1959年(昭和34年)から始められ、鉄道橋に関する専門家の派遣は1961年(昭和36年)が最初で、当時は鉄道橋の維持保守のための、補修・補強設計であった。元国鉄構造物設計事務所ではタイ国鉄道橋の設計や製作監督を行

ったことがあり、日本で鉄道橋を製作し運搬していた。また、1961年には北線ウットラディット付近にあるBandara橋梁(単線ゲルバートラス:1952年イギリス製)は、元構設所長友永和夫氏、元次長西村俊夫氏、および元施設局土木課長三浦誠夫氏(故人)が現地調査に行かれ、SRTの技術者も手伝い構設で補強設計を行って1966年(昭和41年)に補強工事が完了した橋梁である。SRTに対する主な技術協力の実績には次に示すようなものがある。<sup>1)</sup>

- ① トンネル工事工法の技術指導 1975.11
- ② 鉄道橋補強、取替計画調査 1976.2~3
- ③ 輸送司令センター設置 1975.10~76.3  
新型貨車開発計画調査
- ④ 鉄道近代化調査 1981.8~82.2
- ⑤ 南線 Bang Sue~Pak Tho 1981.8~82.3  
間複線化調査
- ⑥ ラマ6世橋修復計画調査 1982.1~10
- ⑦ 信号近代化技術指導 1982.8
- ⑧ 列車ダイヤ作成指導 1983~
- ⑨ バンコク首都圏国鉄高架化 1983.8~84.7  
計画調査
- ⑩ 北線トンネル漏水防止対策 1983.10~11  
調査
- ⑪ 鉄道橋補強、保守技術指導 1983.11~84.2
- ⑫ 鉄道近代検査保守技術指導 1989.12
- ⑬ 鉄道構造物検査センター技 1991.8~94.7  
術指導

JICAよりの長期専門家の派遣制度は1982年(昭和



写真-1 SRT副総裁Mr. Vatana Supornpaibul氏を表敬訪問



写真-3 SRTのディーゼル機関車



写真-2 SRTカウンターパートと業務計画の打合せ



写真-4 バンコク近郊のタムナックタイガーデンレストランでの JICA 専門家との会食風景

57年)に開始され、現在タイ国バンコクには5～6人の専門家が滞在しており、お互いに情報交換を行うため連絡会が開かれており、それに合わせて我々の歓迎会が開かれた(写真-4)。

## 2. タイ国の鉄道橋

### 2.1 鉄道橋の特徴

タイ国の鉄道線路は主として国内の平野部を走っており、低い盛土路盤で、広い平野が一面に水浸しになる雨季には線路は湖水の中を走っているかのような風景が見られる。そのためか橋梁は避溢橋(盛土地域の水没を除ぐ目的で造った橋梁)のようなものが多く、大部分の鉄道橋は桁の床の高さを低くした下路トラス橋でスパンは30m前後から80m程度のもので採用されている。そのうちスパン25m～35mのポニー形式のトラス橋が最も多く、トラス橋の隣りに下路プレートガーダーを並べた橋梁もあったが、

上路プレートガーダータイプの鉄道橋は少ない。

トラス形式の橋梁が多いのは、トラスは小さな部材に分割することができ、船積みによる輸送や架設現場への運搬が容易であり、架設組立てにも大規模な機械設備を必要としないために、多く採用されたものと思われる。

タイ国の鉄道橋の大部分は開業建設当時<sup>2)</sup>(1914年～1929年)のもので、製作国別に見ると、主としてイギリス、フランス、ドイツおよびアメリカから海



写真-5 スパン80m リベット構造 (イギリス製)



写真-6 スパン45m リベット構造 (イギリス製)



写真-7 スパン25m リベット構造 (イギリス製)



写真-8 スパン80m リベット構造 (フランス製)



写真-9 スパン65+70m リベット構造 (フランス製)



写真-10 スパン20m リベット構造 (フランス製)



写真-11 スパン30m リベット構造 (ドイツ製)

外輸入されたものである。1920年代のもので経年70年のものが多く、リベット構造で、スパンは15m～80mに及んでいる。代表的なリベット構造の鉄道橋を写真-5から写真-16に示す。これら鉄道橋を構造別に見ると、製作国別によりおのおのの特徴があり、また特定の国のものが特定の地域に片寄っている傾向もある。このような傾向は日本にもあって、建設前期はイギリス系ポニーワーレン型ピントラスが関西地区に、九州地区にはドイツ系鍊鉄製および鋼製のピントラス橋が用いられ、建設後期になってアメ

リカ系のクーパー型ピントラス橋が関東、東北地方で採用されている。

タイ国では1968年（昭和43年）以降になって、溶接構造の鉄道橋を輸入しており、スパン53m 下路トラス橋（1968年、日本製）、スパン20m 下路プレートガーダーや、スパン15m 下路プレートガーダー（1969年、台湾製）があり、構造ディテールは日本の鉄道橋とほぼ同様のものではあった（写真-17、18、19）。タイ国鉄道橋の製作国は、前期の4カ国に台湾、タイ国および日本を加えて、7カ国になっている。



写真-12 スパン20m リベット構造（ドイツ製）



写真-16 スパン15m リベット構造（タイ国製）



写真-13 スパン15m リベット構造（ドイツ製）



写真-17 スパン53m 溶接構造（日本製）



写真-14 スパン40m ピン結合トラス格点部（アメリカ製）



写真-18 スパン20m 溶接構造（日本製）



写真-15 スパン15m リベット構造（アメリカ製）



写真-19 スパン15m 溶接構造（台湾製）

3月26日はSRTの鉄道記念日で、色々なイベントがあった。タイ国テレビでは、アメリカ映画「戦場に架ける橋」が放映された。この映画で一躍有名になったクワイ河鉄橋は、バンコク西方120kmカンチャナブリ駅付近にあり、写真-20に見られるように鋼トラス橋で、中央の2スパンのトラスは太平洋戦争で被爆して架換えられたものである。映画で見る泰緬(タイ・ビルマ)鉄道の橋梁は木造によるトラス橋であり、架橋位置も実際とは大分異なっている(写真-21)。

クワイ河橋梁のたもとには日本軍により建てられた慰霊碑があり、休日にはバンコクから観光列車が運転され、多くの観光客が訪れていた。



写真-20 映画戦場に架ける橋で有名なクワイ河鉄道橋

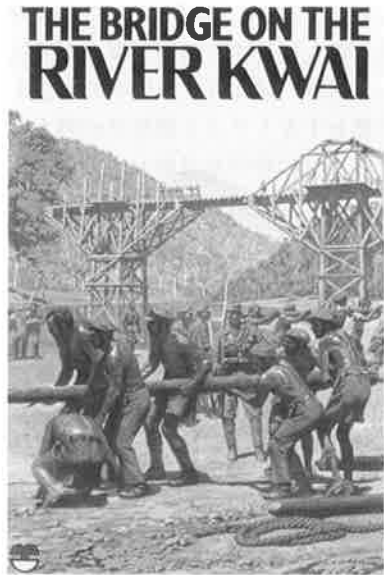
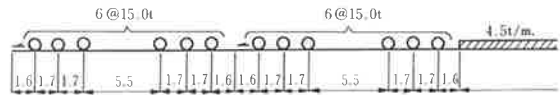


写真-21 アメリカ映画で見るクワイ河橋梁



(注) DL-15標準荷重、補修・補強あるいは架換え工事などの設計に用いたもの

図-2 補修補強計画に用いた標準活荷重

## 2.2 鉄道橋の補修、補強

### (1) 変状橋梁の補修補強方針

1976年(昭和51年)実施された鉄道橋の補修、補強取替計画調査<sup>2)</sup>により、変状橋梁の手直し、補修、補強の方針が次のように決められている。

- ① 補修：腐食、疲労変状、部材変形のもの
- ② 補強：許容応力に対する応力の超過、構造的欠陥のもの。
- ③ 架換え：補強が困難または費用が増大となり、その他特殊事情のあるもの。

ここでは補修、補強を行う場合の基本的な方針について述べる。考慮された主な事項は次に示すとおりであった。

#### ① 荷重

補修、補強はすべてDL-15標準荷重(図-2)とし、工事中は機関車の重連は考えない。なお、補強のための設計計算は主荷重と他の荷重は同時には考えない。

#### ② 建築限界

特殊事情がある場合を除き、タイ国鉄制定の建築限界による。

#### ③ 材料

使用材料はすべて新しい鋼材とし、種類はできるだけ少なくする。また部材間の連結あるいは添接には、溶接、リベット、高力ボルトなどが

考えられるが、次の条件で使い分けがなされている。

- 工場における部材の組立は溶接による。
- 現場溶接は防水など以外には用いない。
- 接触面の清掃が可能で、所定の摩擦係数が得られる場合、および現場における部材の組み合わせには高力ボルトを用いる。ただし、現場の事情で接触面を十分に処理できない場合には、再現実験を行い摩擦係数を求め、それに基づいて所要本数を定める。<sup>3)</sup>
- 上記の場合以外は原則としてリベットを用いる。

#### ④ 作業方法

作業は列車間合に行うのを原則とし、できるだけ列車運行に支障をきたさない施工方法を採用する。橋梁部材の補修、補強は原部材に新材を添加するか、あるいは原部材を撤去して新しい部材と取替えるという方法で行われたが、いずれの場合も部材、または添加材には死荷重は負担させず、列車荷重に対してのみ有効に作用させるというものであった。

### (2) トラス橋の補修・補強例

トラス主構の補修・補強は、部材の過大応力あるいは、細長比の過大な部材に対する補強工事が大部分である。補修工事としては、下弦材の腐食、あるいは、斜材、垂直材に見られるリベットの弛みなど

に対するものであり、床組については強度不足に対する補強と腐食に対する補修工事が混在している。

これらの補修・補強方法の標準的な施工例として改良を必要とするトラス主構部材の例を図-3に、また、トラス部材の標準改良断面等の例を図-4に示す。工事の施工例としては、トラス斜材、垂直材の補強例を写真-22、トラス下綫構部材を高力ボルトで結合

イギリス製 (Cleveland)	フランス製 (Dayde')
スパン 30m	スパン 30m
スパン 40m	スパン 40m
スパン 50m	スパン 50m
スパン 60m	注) DL-14, DL-15標準荷重による応力超過部材 DL-15標準荷重による応力超過部材 細長比の過大な部材
スパン 70m	
スパン 80m	

図-3 補修補強を必要とするトラス主構部材の例



写真-22 斜材垂直材の補強で座屈長を短かくした例

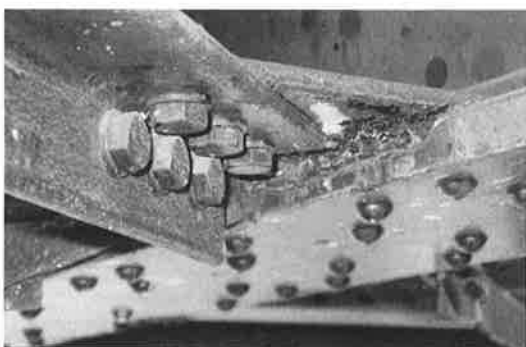


写真-23 高力ボルトで結合した綫構の補修例

部材	現断面	補強断面
上弦材		
端柱		
下弦材		
斜材		
垂直材		
主けた		
横構		
縦けた		
横けた		
縦けた支材		
ニーブレス		
斜材および垂直材		

図-4 トラス部材の標準改良断面および補強方法の例

表-1 鉄道橋の健全度診断項目一覧表

診断項目	評価項目	調査・解析項目	調査箇所	使用装置、機器	記録等
安 全 性	現有耐力 (現有応力比率、実耐率)	・部材の断面測定(腐食量) ・活荷重相当値	・スパン中央付近 ・カバープレート端部 ・最大欠食部	・スケール ・パス ・BMCシステム	・活荷重相当値のための軸重・軸距整理表 ・現有耐力整理表 ・現有耐力集計一覧表
	耐用年数の推定 (余寿命推定)	・致命的箇所の選定 ・活荷重履歴の調査 ・必要に応じた応力測定	・選定した致命的箇所 ・最大応力の発生箇所(凹凸のある腐食部)	・BMCシステム ・ひずみゲージ	・耐用年数推定入力データ整理表(I、II、III) ・余寿命評価のための軸重・軸距整理表
	・損傷(損傷度) ・原因の究明	・目視検査 ・疲労損傷度 ・着目箇所の応力測定 ・振動やたわみの測定	・マニュアルで示した箇所 ・着目する箇所・部材	・BMCシステム ・カメラ ・ひずみゲージ ・加速度計 ・たわみ計	・鋼橋検査のチェックリスト(建造物保守管理の標準) ・構造物検査記録簿 ・構造物変状調 ・測定一覧表 ・測定結果一覧表
機 能 性	走行性 ・徐行速度 ・速度向上	・たわみ測定 ・横振れの測定	・最大たわみの起る箇所 (スパン中央や 支点沈下部)	・たわみ計 ・加速度計 ・ダイヤルゲージ ・BMCシステム	・走行性診断表 ・たわみ・横振れ限度曲線とたわみ量、横振れ量

### 3. 鉄道橋の健全度診断

#### 3.1 健全度の診断システム

鉄道橋をより合理的に維持し、資産として有効に活用することに対するニーズは海外でも強まっており、従来の維持管理の手法をさらに発展させる必要がある。例えば老朽化に伴う耐荷力不足や、腐食の問題、速度向上に伴う走行性や振動の問題など、従来の評価に余り見られなかった分野の評価方法の導入が必要になってきた。表-1は鉄道橋の健全性を評価する場合の診断項目ごとに、評価、解析、調査箇所および使用計測機器などを判り易く示したものである。タイ国鉄道橋の検査に当たっては、日本における鉄道橋の変状例<sup>1)</sup>を参考とし、また、建造物保守管理の標準(案)同解説・鋼鉄道橋<sup>2)</sup>の規程をテキストにして講習を行った。

#### 3.2 鉄道橋の変状と検査

鉄道橋を検査する場合、どのような変状が発生するのか、また、その変状がどんな特徴があるのかを知っておく必要がある。鉄道橋の変状の特徴を見るためには、①、変状の原因、②、鉄道橋の製作された年代、③、変状の外的要因などによって原因を分類し、その特徴を把握するのがよい。

#### (1) 鉄道橋の変状分類の例

##### 1) 経年による腐食および摩耗

鋼材の欠点の一つには“錆びる”ことがあり、これを防止するために塗装を施しているが、ごみや汚物の付着し易い箇所は塗膜が劣化して腐食が生じる。腐食はさらに進行して断面を減少させ部材の耐荷力を低下させる。また、腐食がリベットの場合は継手の耐荷力が減少する。桁の支点部など、列車が通過するたびに動くような箇所は摩耗による欠損が生じ、き裂などが発生することがある。

##### 2) 桁の弱点部に生ずる変状

鋼材特有のもので鉄道橋では、疲労、座屈、遅れ破壊(高力ボルトの例)などがある。また、最近の列車の高速運転に伴って振動によるき裂の発生などがある。これらの変状は、設計段階で予測できなかった部分や、新規の材料に発生するもので、現在では逐次設計に反映させて、変状の発生が防止されている。

##### 3) 異常な外力や変位による急激な変状

地震、洪水、衝突などの異常な外力によるもの、下部工の大きな変位、火災による材料の劣化および変形などによる変状でこれらのものは、応急復旧が問題となるものである。

##### 4) その他

変状で代表的なものに、シュー座の破損がある。また、軌道まくら木を締結するボルトのフックボルトの弛みなどがある。

## (2) 製作年代による変状の特徴

鉄道橋は製作された年代によって、鋼材の材質や構造が異なり、変状の発生にもそれぞれの特徴がある。鉄道橋の検査の際にこの特徴を知っておれば変状の見落としが少なくなる。

## 1) 錬鉄、ベッセマー鋼時代

鋼材の強度や伸びは普通鋼に劣るが、腐食しにくい特徴がある。熱を加えると脆くなるので、溶接補強した箇所には、き裂が入り易い。現存している鉄道橋の数は少ない。

## 2) リベット構造時代

鋼材の強度は錬鉄よりも高いが、腐食しているものが多い。特に腐食している部分はマクラギ接触面、桁の支点部付近、下綾構のガゼットプレートや下フランジなどのゴミの溜りやすい箇所、カバープレートの端部、汚物のかかりやすい横桁の腹板などである。このような箇所ではリベットの頭部も欠食しているものが多い。また、桁支点部付近や上フランジで欠食した部分からき裂が発生しているものもある。添接部のリベットは十分強度があつて弛んでいるものは少ないが、二次部材の連結部のリベットでは、耐荷力に余裕の少ないものもあり、経年による疲労のため弛緩しているものがある。

## 3) 溶接構造時代

鉄道橋に本格的に溶接構造が採用されるようになって25年程度である。したがって、経年による腐食の変状はないが、最近になって疲労き裂の発生しているものがある。これらの変状の発生する箇所はあらかじめ予想することができる。一般に、列車荷重の繰返しを受け、応力の集中を生じやすい所であり、また、列車通過時に振動の大きい所でも同じような変状が発生する。溶接桁の場合には、溶接部やその周辺から変状が発生するものが多く、このような原因は溶接構造の採用と、材料強度が高くなったために部材がさらにスレンダーになったことと、溶接部やその周辺が疲労に対して弱点となっているためである。鋼材を溶接する場合、鋼材に高い熱を加えるため材質の変化や、収縮変形、残留応力などが生じる。

また、溶接部自体にも微少な欠陥が存在することがある。これらは設計、製作とも十分考慮されており、主要部材についてはこれらの変状が発生する心配はないが、振動のし易い部材や応力集中のある二次的連結部材の部分にき裂などが発生しているものがある。

## (3) 鉄道橋の目視による検査

鉄道橋の検査で変状を見つけるためには、種々な検査方法があるが、リベットの弛みやき裂などは、目視検査によるのが最も簡便でよい方法である。こ

の目視検査を行う場合の注意点について述べる。

## 1) リベットの弛み

リベットの弛みを見つけるのは目で見るのが最もよい方法である。桁には塗装が施されており、目で見る上に非常に役立っている。リベットを見るときはその周りの塗膜を見る。弛みの生じているリベットは、リベットと鋼材の間のペンキが切れてわずかに錆が発生しておりリベットの周りが赤っぽくなっている。さらに弛みの進んだものは常にリベットが動いているので、鉄粉のため黒ずんでいる。リベットの弛みを見つけるためにはどんなリベットが弛みやすいのか知っている方が見つけやすい。弛みの生じやすいリベットは一般的に次のとおりである。

- ① 現場リベットは工場リベットよりも弛みやすい。
- ② 軸方向に力を受けるリベットは弛みやすい。
- ③ 部材の連結部など繰返し荷重を受けるリベット。
- ④ 弛んだリベットがあると同様な箇所のリベットも弛む場合がある。

## 2) き裂

き裂の検査方法には浸透探傷（レッドチェック）や磁粉探傷などがあるが、塗装されている鉄道橋ではリベットの場合と同様に目視によるのがよい。き裂が発生している箇所はペンキにもき裂が生じ、そのき裂に沿って錆が付着している。この場合直ちに補修の必要のない場合は、ペンキをはく離しないでそのままの状態が目視による監視を続ける方がよい。

腐食部分のき裂の検査や衝突事故などによって生じた変状部のき裂の検査は、表面をよく清掃して浸透探傷を行う。表面を清掃するとき、き裂の部分潰してしまうおそれがあるので、ペンキや錆は丁寧に取除く必要がある。

## 3) 列車の載荷時に目視する

鉄道橋の変状は断面の欠損が何%とか、き裂の長さ何mmと云う静的な検査だけでなく、列車が通過しているときの状態もよく見る必要がある。変状の原因を見つけ対策をたてるためには、動いている状態を見る方が好都合である。例えば部材の振動状態、シューやシュー座の動き、き裂の発生しているものでは列車通過時の開口の有無と開き具合などを見ることである。

## 4) 橋梁全体を観察する

変状の発生している部分のみならず、橋梁全体を観察して、軌道マクラギの締結状態、下部工の変状、シュー座の破損などがいないか調査を行う。また、腐食状況の調査では橋桁の環境も調べ、腐食に及ぼす影響を考察することである。



5) 検査記録のまとめ方

検査記録あるいは変状調査記録は、鉄道橋の保守管理上のデータ（履歴）と同時に、変状対策を立てる場合の貴重な資料となるものである。記録として整理する項目には次のようなものがある。

- ① 調査の目的
- ② 橋梁の概要
- ③ 変状の状況と変状の原因
- ④ 変状の対策および補修方法
- ⑤ 考察

記録の内容としては、断面の欠損率とか、き裂の長さなどの量的なもののほか、列車通過時の状況、下部工、あるいは橋梁の環境などについて知り得た内容も全て記録しておく必要がある。

3.3 BMCシステムによる診断

従来、健全度の診断には応力歪計、振動計などの計測機器が用いられていたが、最近新たに開発されたBMCシステムがあり、鉄道橋の診断に使用されている。以下、BMC (Bridge Maintenance Consultant) システムによる診断方法<sup>6)</sup>を紹介する。

(1) BMC診断システムの特徴

1) コンパクトで現場可搬形

増幅器、A-Dコンバータ、データレコーダ、オシログラフを1つのケースに収納し、手持ちのパソコンと連結することによって、総合的な測定、診断システムとすることができる。また、電源もバッテリーのみで動作可能である。

2) 実橋での測定準備操作が簡便

測定対象ごとの専用ブリッジボックスを使用するため、ブリッジ結線やハンダ付が不用である。

3) 現場で即診断も可能

現場で収録したデータを用いて、準備されている基本的な解析ソフトウェアを利用して、現場で鉄道橋の診断を行うことができる。

4) データレコーダーが不要

データをフロッピーディスクに直接BMCコードで収録するので、従ってそのフロッピーを使用してパソコンでデータ処理ができる。

5) 診断に関する専門知識や測定に関する知識熟練は不要

メニュー方式ですべての操作が出来るので、取扱い作業が容易である。

6) 基本的な評価、解析手法の組込み

損傷、健全性などの評価、診断を行うためのソフトウェアも準備されている。

7) 従来の測定、診断手法に比べ経済的

必要な機能をコンパクトに効率よくまとめているので、省力化が図られている。

(2) BMCシステムの構成

システムの構成は図-5に示すとおりである。

(3) データ収録、解析および診断

データはBMCコードで自動的にフロッピーに収録されるので、保管やデータベース化が容易である。測定、診断から報告書の作成まで、BMCシステムで処理ができる。図-6はBMCシステムによるデータ測定から解析、診断および報告書の作成までの総括図であり、その内容の例を示したものである。

図-7は鉄道橋における列車走行時の縦桁および主桁の実測データを収録した例を示したものである。

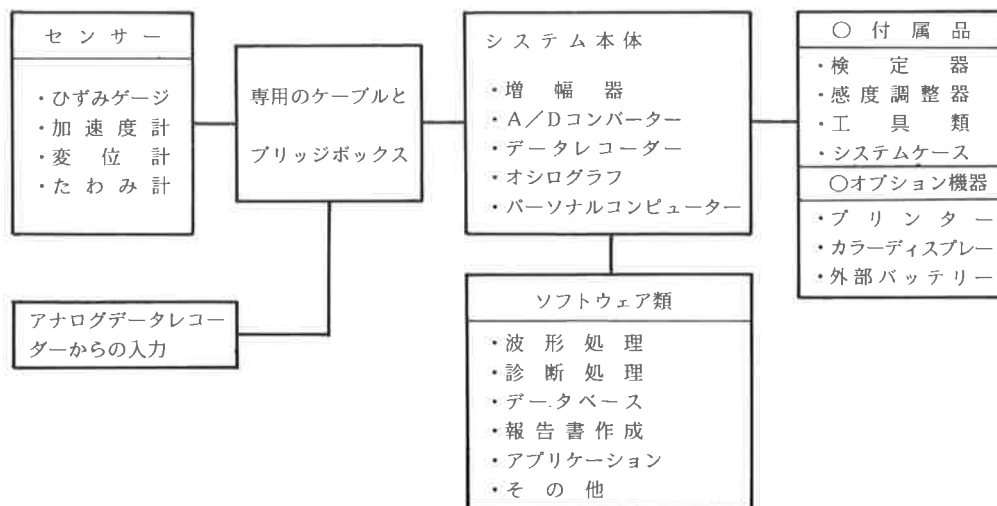
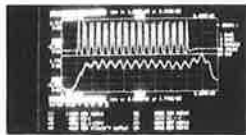


図-5 BMCシステムの構成図

○測定

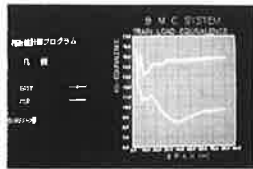
- データの収録
- データの処理
- データの蓄積
- 収録波形の表示



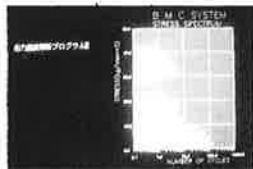
収録波形の表示

○解析

- 任意の列車荷重に対する荷重相当値
- 各部材に働くモーメント、反力
- 応力スペクトル
- 等価繰返し数



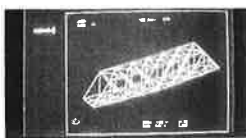
荷重相当値



応力スペクトル

○構造解析(FEM) (オプション)

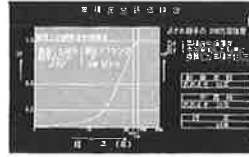
- BMC FEM データの自動作成
- 断面性能計算
- 運行荷重に対する任意の部材の応当値
- 主応力表示



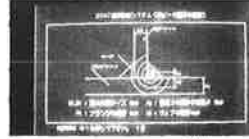
計算結果の出力変形・応力データ

○評価・診断

- 耐用年数
- 疲労き裂の発生寿命
- 疲労き裂の進展寿命



累積疲労評価線図

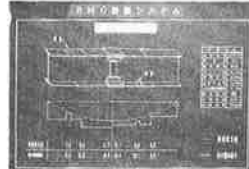


縦ビートからのき裂評価の例

○評価・診断 (現有耐力)

- プレートガーダー
- トラスの床組 ●格子桁 ●トラスの主構
- 曲線・斜角桁

(BMC-1 のバージョンでは、プレートガーダーの主桁とトラスの床組の計算(曲線桁を含む)のみです。その他は、BMC-11 もしくはオプションです。)



プレートガーダーの現有耐力

○報告書の作成

- 報告書の作成

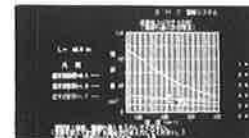


報告書の作成

○評価・診断 (健全性)

- たわみ
- 横揺れ
- 速度向上と制限

(評価手法や基準はユーザーによって大幅に異なるため、別途開発が必要になります。したがって、BMC-1には含まれていません。)



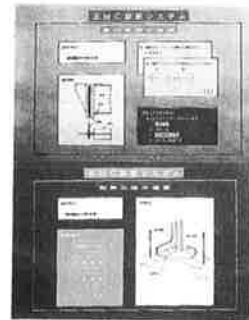
横揺れ



たわみ制限

○対策計画(オプション)

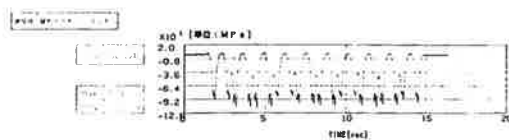
- 損傷のランク付け
- 原因の究明
- 工法の選定



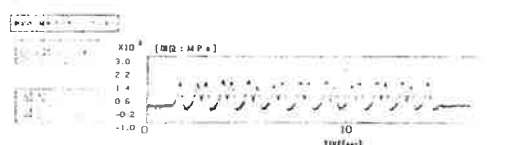
ブロックダイアグラム

図-6 BMCシステムによる測定、解析、診断の例

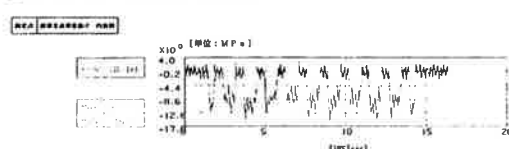
●縦桁上フランジ(応力データ)



●縦桁下フランジ(応力データ)



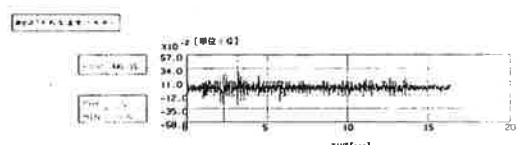
●縦桁支点部首曲げ内軌側(応力データ)



●主桁たわみ(mm)



●主桁水平加速度データ



●主桁鉛直加速度データ

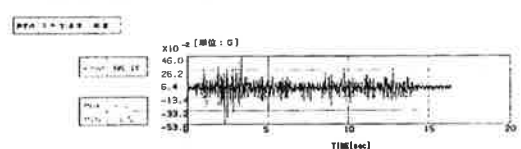


図-7 BMCシステムによるデータプリントアウトの例

#### 4. タイ国鉄道橋のBMC診断

##### (1) 現地でのBMCデモンストレーション

BMCシステムによる診断機器の取扱い方については、バンコク近郊の鉄道橋を選び、測定計器を現地に運び、スパン30m 1925年ドイツ制作のリベット構造の下路トラス橋を教材として、実橋におけるデモンストレーションを行った(写真-24、25、26)。

調査箇所はトラス下弦材、横桁、縦桁の3測点とし、列車走行時のデータ測定を行った。現地橋梁においては、次の事項について実習を行った。

- ① 測定ゲージの貼付け方法
- ② BMC機器のセットおよび結線の仕方
- ③ BMCシステムの立ち上げからデータ収録の扱い方
- ④ 測定データの処理方法
- ⑤ 実測波形を用いた解析および考察の仕方

##### (2) 室内における実習

室内において現地で計測した実例データを用いて、また、データベースは日本で作成したものを使用して解析する実例紹介による実習を数回に亘って行った(写真-27、28)。

- ① SRT機関車による活荷重相当値の計算
- ② 現有応力比率の計算
- ③ 横振れ限度曲線の計算
- ④ 耐用年数の計算

また、鉄道橋の検査では、全般検査を行う場合の目視検査の着眼点や検査機器の取扱い方、総括講習では日本における検査制度の沿革、保守の規程体系、および鉄道橋の構造概論などについて講義を行った(写真-29)。

SRTで今回参加した若い技術者は皆んな熱心に実習をおこなったため、理解も早く、BMC計測器の取扱い操作も自由にできるようになり、我々の目的は十分に達成されたものと確信することができた。



写真-24 BMCシステム診断でゲージの貼り付け実習



写真-27 BMCシステム診断の実習



写真-25 BMCシステム診断のデモンストレーション風景



写真-28 BMCシステム診断の室内講習



写真-26 BMCシステム診断の計測実習



写真-29 鉄道橋の検査システムに関する質疑応答風景

おわりに

今度の海外出張により、タイ国の親日で友好的な環境の中で仕事が出来たことは、私の人生にとって大きな刺激となり、鉄道橋の維持管理に対する関心は海外においても高まり、今後は海外との技術交流が盛んに行われるものと考えられる。最初のうちは慣れない環境での仕事で、どのようになることかと思われたが、1週間も経つとだんだん面白くなり、仕事も順調に捗り、食べ物の選択にも迷うことがなくなり、もっと長く居てもよいと思うようになった。

バンコク市内の幹線道路は日本の交通混雑よりもきびしく、これを避けるため朝8時出勤、夕方16時30分退勤となっており、17時（日本時間19時）から始まるNHKニュースを聞き、18時ロビーに集合して皆んなで夕食を取るのが日課であった。しかし、休日の前夜にはSRTの友人の来訪もあり、夜のバンコクを歩き廻り、帰りにはサムロー（軽三輪車の荷台を改造した軽タク）に料金交渉をして、ホテルまで乗ったこともあった。

休日にはバンコク近郊の王宮殿跡や、ワットプラオケ（エメラルド寺院）、ワットアルン（暁の寺）、およびワットサケット（黄金の丘）などに出かけた（写真-30）。



写真-30 バンコク近郊の王宮殿とワットプラオケ



写真-31 アユタヤ古都遺跡の3仏塔

また、バンコクより北方90kmにある古都のアユタヤ遺跡を見学した（写真-31）。

鉄道橋の調査で北線のランバン付近まで出かけたときには、平成2年9月天皇、皇后両陛下がタイ国を公式御訪問なされた際に、お立寄りになられたチェンマイ近郊の古都、スコータイ遺跡を見学することができてよい思い出となった（写真-32）。

おわりに、海外出張でタイ国バンコクでひとかたならぬお世話を頂いた、SRT長期専門家高橋郁夫氏（JR東日本国際課）、SRT前総裁顧問福島昭男氏（日本鉄道建設公団）、現総裁顧問滝沢正道氏（同）、ESC AP事務官高須俊司氏（同）、JICAタイ事務所石渡徳久氏（同）に感謝すると共にタイ国出張に当り技術的情報や資料を提供して下さいました。阪本謙二氏（鉄道総合技術研究所、室長）、阿部允氏（鉄道総合技術研究所）、小芝明弘氏（同）、杉館政雄氏（同）に対し深くお礼の意を表します。

また、今回の海外出張に当たっては格別なるご配慮をいただき、このような貴重な体験の機会を与えて下された皆様方には感謝いたします。



写真-32 スコータイ古都遺跡の大仏像

参考文献

- 1) 海外鉄道技術協力会：世界の鉄道（タイ国） 1985.4
- 2) 阿部英彦、大槻正幸：タイ国鉄道の調査構造物設計資料 1977.6
- 3) 佐々木秀弥：腐食鋼材の疲労強度ならびに古材に設けた高力ボルト継手に関する文献調査 駒井技報 Vol.8 1989
- 4) 田中勇、阿部允：鉄道橋の検査 鉄道土木 1979.9
- 5) 国鉄施設局土木課：建造物保守管理標準（案）同解説、鋼鉄道橋 1987.3
- 6) 橋梁メンテナンスコンサルタント：BMC橋梁診断システム 1991.6