

第 9 回 ICUS オープンレクチャ

我が国の構造物と安全性

石橋 忠良, 金氏 眞, 藤森 照信, 魚本 健人

ICUS Report No.11

2006 年 3 月

都市基盤安全工学国際研究センター

Structures and Safety in Japan

by

**Tadayoshi Ishibashi, Makoto Kaneuji,
Terunobu Fujimori and Taketo Uomoto**

ICUS Report No.11, March 2006

ABSTRACT

ICUS Open Lecture is held at every half year. This report is the compilation of the lectures at the 9th Open Lecture held at convention hall, IIS. The topic focuses on structures and safety in Japan.

In 2004, many structures were damaged due to some strong typhoons such as No.22 or 23 in Japan, also 300,000 people died and many structures were destroyed due to a huge tsunami generated by a M9.0 earthquake off Sumatra which severely damaged Indian Ocean rim countries.

These experiences teach us to recognize the importance of countermeasures against natural disasters. Central Disaster Prevention Council of Japan forecasted a possibility of huge damage due to an epicentral earthquake in Tokyo area. The Open Lecture theme was chosen to set the stage for our citizens to think about safety of their structures.

In the 9th Open Lecture, Dr. Tadayoshi Ishibashi discussed on the restoration of railway structures damaged by Chuetsu earthquake and antiseismic reinforcement. Dr. Makoto Kaneuji discussed on the asset management of road bridges and ensuring safety. Professor Terunobu Fujimori discussed on the history of the concepts of structural safety in Japan.

第9回 ICUS オープンレクチャ

目次

1. 開会あいさつと趣旨説明 (魚本 健人).....	1
2. 地震の被害復旧と耐震補強について(石橋 忠良).....	2
2.1 新潟県中越地震の被害.....	3
2.2 在来線の被害.....	14
2.3 耐震補強について.....	20
3. 道路橋アセットマネジメントと安全性確保 (金氏 眞).....	25
3.1 社会資本のアセットマネジメントについて.....	26
3.2 ブリッジマネジメントシステム.....	35
3.3 青森県のブリッジマネジメントシステム構築例.....	43
4. 歴史から見た我国の構造物の安全性に対する考え方 (藤森 照信).....	53
5. 閉会のあいさつ (目黒 公郎).....	73

1. 開会あいさつと趣旨説明

魚本 健人 (ICUS 教授)

時間になりましたので、第 9 回 ICUS オープンレクチャを始めさせていただきます。お手元にプログラムがございますが、本日は 3 人の先生方にご講演をいただく予定です。最初は東日本旅客鉄道の石橋さんからお話をいただきまして、その後、鹿島建設株式会社の金氏さんにご講演をいただきます。その後、休憩をはさみまして、当生産技術研究所の藤森先生からいただくことになっております。予定では 4:30 頃に終了予定となっておりますが、その後、隣のホワイエで懇親会がございますので、是非ご参加下さい。

今回のオープンレクチャは我が国の構造物と安全性という題名で進ませていただきます。ご存知のように新潟県中越地震のような様々な災害が発生しており、最近では津波、台風の類のものが起こっており、それに対して我が国の構造物の安全性はどうなっているのか？という内容でご講演いただきます。私は、本日の司会を務めます生産技術研究所、都市基盤安全工学国際研究センターの魚本と申します。宜しくお願いいたします。それでは、最初のご講演をお願いしたいと思います。東日本旅客株式会社の建設工事部担当部長兼、構造技術センター所長でおられます石橋さんに最初のお話をいただきます。題名は「地震の被害復旧と耐震設計・耐震補強について」という内容でお願いしたいと思います。尚、前回の 2005 年 3 月に行われた第 8 回のオープンレクチャでお話いただいた先生方の講演を冊子にまとめてあります。ご興味のある方は、受付の横にございますので、是非、ご覧下さい。それでは、石橋さん、宜しくお願いいたします。



2. 地震の被害復旧と耐震補強について

石橋 忠良（東日本旅客鉄道株式会社 理事 建設工事部担当部長兼構造技術センター所長）

略歴

石橋 忠良 (いしばしただよし)

1970 年 4 月 1 日 日本国有鉄道

1972 年 5 月 1 日 日本国有鉄道 構造物設計事務所

1975 年 2 月 10 日 日本国有鉄道 仙台新幹線工事局

1979 年 3 月 10 日 日本国有鉄道 構造物設計事務所主任技師

1987 年 4 月 1 日 東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所工事管理室長

1991 年 2 月 1 日 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所工事管理室長

1995 年 3 月 20 日 東日本旅客鉄道(株) 建設工事部 担当部長兼構造技術センター所長
現在に至る



ただいま紹介いただきました JR 東日本の石橋です。今日は、中越地震の被害状況、復旧、そのほかに、阪神のときの、中越地震では起こらなかったような被害の例の紹介、現在やっている耐震補強、それから耐震設計の歴史、その辺についてお話ししたいと思います。

2.1 新潟県中越地震の被害

最初に、新潟県の中越地震の被害についてお話しします。起こったのは約1年前の10月23日です。本震、余震ということで、長岡の近くで何度も地震が起こったわけです。

新潟県中越地震の概要

地震の概要

発 生 2004年10月23日(土)17:56頃

震 源 新潟県中越地方(N37.3、E138.9)

地震規模 M6.8 (最大震度7=川口町)

余震回数 震度6強弱……4回

震度5強弱・・・18回

有感地震・・・877回(12/28まで)

観測最大ガル数

一般 2515ガル(川口町)

当社 846ガル(上越新幹線新川口変電所)

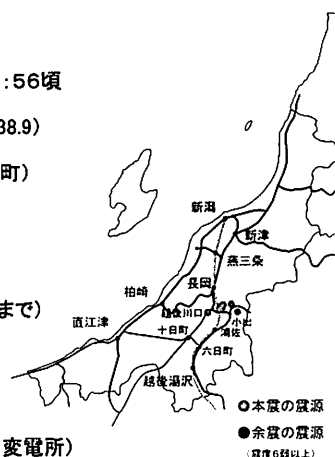


図-2.1 新潟県中越地震の概要

このときに記録された SI 値や、在来線、新幹線の SS(鉄道で持っている変電所)で取れている加速度です。日本列島がどうやって動いているかというのを国土地理院で出しているデータです。日本列島は太平洋側と日本海側の両方から押されて、ちょうど今回起こったところあたりが両方から押されたゼロ点に近いところだということが、気象庁の記録からいえます。この赤いところが大体中心です。今回地震が起こったところは×がありますが、両方から押されて、ちょうど今回の地震の起こったところあたりが、ひずみが集中している場所です。今回起こった断層のモデルがここにありますが、押されて逆断層が起こっています。

被害の状況です。ここに路線図がありますが、長岡の手前で、このトンネルを出たところで下りの新幹線「とき 325 号」が脱線をしております。これは信越本線、黄色が上越線です。被害が大きかったのは、在来線としては上越線、全般にこの辺が大きな被害を受けております。

実際の運転の再開状況です。新幹線は、最終的に全線開通したのは 12 月 28 日になっております。在来線も順次開通していきまして、全線開通が新幹線より 1 日前の 27 日。た



23日に地震が起こって、私のいる部署は主にそういう復旧の設計等を担当しておりますので、その日のうちに社員を現地に向かわせました。実際は夜暗くてなかなか分からなくて、ほとんど全容が判明したのは翌日ですが、新幹線、在来線とも23日に調査に行かせました。

被害総括 被害総括（新幹線） **上越新幹線 主な被害箇所および復旧方法**



夜のほとんどはこの信濃川の水力発電所を使って運転しているわけですが、現在まだ発電量は半分くらいの状況です。

鉄道に関しては、構造物は阪神等で経験しておりましたので、被害状況が分かったら、橋梁・高架橋の復旧方針はかなり早く決定しました。少し時間がかかったのはトンネルですが、トンネルは、実はなかなか調査に入れなかったのです。余震が何度も続いておりまして、2次被害が起こっては困るということで、実際にトンネルの専門の人は入っているのですが、作業員がみんな怖がって入りませんので、測量の人もみんな入らなかったのです。入れるようになるのにかなり時間がかかったのです、着手するのに若干時間がかかりました。それから、在来線のほうは少し遅れて方針を決めたのですが、在来線は盛土が中心なので、方針を間違わなければ比較的復旧には時間がかからないということで、少し遅れて決めております。

ダムについては、今、四つの分科会を作って復旧作業をやっているという状況です。

復旧のしかたは、実際は各現場の施工業者、ゼネコンさんの担当を決めますが、復旧の図面を渡さないと作業できないので、その図面は私のいるところでほとんど作りまして、文書で図面を渡してやるというようなやり方をしております。これは阪神のときの反省もありまして、ふくそうしておりますと現地に指示が確実に伝わるのが非常に難しくて、「言った、言わない」というようなことがどんどん起こってきますので、必ず全部文書で渡すということで、全部の図面や文書に私がサインをして送りました。混乱のないようにこんな方法を取っております。

新幹線の被害です。新幹線の脱線している場所は長岡の手前ですが、構造物としての被害は、この脱線の手前の高架橋は比較的軽い被害です。あと、阪神で壊れたようなせん断が弱いという、非常にもろく壊れる柱については、事前に補強してあったので、曲げで損傷するような柱だけが残っていたので、そんなにここは被害を受けませんでした。

トンネルで被害を受けたのは、魚沼トンネル、妙見トンネル、この二つが大きな被害です。それから、橋梁として被害が大きかったのは、魚野川橋梁と和南津高架橋です。この辺が、新幹線の構造物の被害としては比較的大きかった場所です。

まず、脱線付近です。先頭車がこちらです。これは後ろから見たところです。これはいちばん先頭の状況です。脱線して、いちばん先頭が、車輪と、こういう出っ張ったものでちょうどレールを挟んでまっすぐ走ったということが、かなりの間軌道から落ちずにずっと走り続けたという結果になったのかなと思います。

こういう実際の事象から、脱線に対する対策を今勉強しておりまして、一つは、脱線しても、このように挟めばまっすぐ行ってくれるかなと。途中でこのようにレールが外れてしまったのは、レールの締結装置のばねが、車輪が乗かって切られてしまったからで、締結装置を車輪が乗かっても切れないようにしようとか、そのような対策を現在検討しております。

脱線現場付近の状況

脱線現場付近の状況(新幹線)

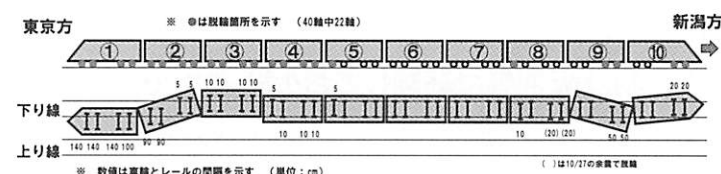


図-2.4 脱線現場付近の状況

魚沼トンネルの損傷

(195k080m付近)

トンネルの被害と復旧(新幹線)

損傷状況



①195k080m付近

②195k060m～150m付近

スラブ変状

覆工コンクリート剥落

図-2.5 魚沼トンネルの損傷

トンネルの状況です。いちばん大きな被害を負ったのは魚沼トンネルです。このトンネルは約 8km の延長で、施工のしかたは、下のほうを先に造っておいて後から上を造るという底設導坑や側壁導坑です。現在の方式では、コンクリートを吹き付けて地山とコンクリートが密着するような施工をするのですが、当時の施工は、掘って、型枠をやって、掘った岩との間にコンクリートを埋めるのです。下に型枠をやって、上にコンクリートを積んで、なかなかこの辺のコンクリートと地山が密着していないで、大体この辺は上がすいているというような施工になっております。コンクリートの厚さは 50～90cm。造ったのは昭和 47 年から 52 年です。

これはトンネルの覆工の一部が落ちて軌道の上にかぶさっているのです。これを見ると非常に大変で、実際大変なのですが、ただ、範囲は非常に小さくて、これは線路が持ち上がっ

ている箇所が約 100m で、落ちている箇所はせいぜい 10m ちょっくらいずつと、範囲としては非常に狭かったのですが、こういう格好で上の覆工が落ちています。

レールが持ち上がって見えるわけですが、よく見ますと、このレールと、それから、このように新幹線の場合は枕木ではなくて 5m の大きな版が敷いてありまして、それとレールを結んでいるのですが、それと下の間がすいていまして、トンネルそのものが盛り上がったというよりも、軌道が押されて座屈して無理に持ち上がったという現象で、こういうところがすいています。

本当にトンネルが下から押されて持ち上がってしまうとなると、これはもう一回土を掘るといようなことをしなくてはいけないのですが、幸い、実際に地山が持ち上がった量は、若干はあるでしょうけれども、ほとんど少なかったので、土を掘らずに直せると判断しました。これは中央通路で、ちょうどトンネルの上りと下りの間の部分で人間が歩くところですが、こういうところに斜めのひび割れが出ています。いろいろなところでいろいろな委員会をやったりして原因調査をしていますが、私の個人的な見解は、これはやはりトンネルがかなり軸方向に押されてこういうせん断ひび割れが入って、軸方向に押されるためにレールも座屈して上に持ち上がったのかなと思っています。

今のひどいところをいろいろな角度から撮った写真です。側壁にもこういう斜めのひび割れが入っていますので、これも押されてこういうせん断のひび割れが入っています。それが上のほうから落ちたところの跡です。これは鉄骨の H 鋼が入っていまして、その下の部分がはがれて落ちています。それから、軌道スラブが持ち上がって、下の土が押しているわけではなくて、軌道そのものがレールに引っ張られているように持ち上がっているという挙動の損傷です。

どうやって直したかという、壊れたところは一応落としまして、ロックボルトといって岩に穴を開けて鉄筋を差し込んで、モルタルで固めて、周りの地山と一体にしています。そうはいってもいろいろな細かいクラックが入っていますので、部分的に欠けて落ちてくると困りますから、内側に繊維入りの補強のプレキャスト版を全部張りつけるという直し方をしています。

それから、下が壊れたところは、インバートという下を包んでいるところから上を壊してここを造り直すという方をしております。

これを直すに当たっては結局、測量をやらないといけないのですが、余震でなかなか測量に入れなかったのです。断面が列車に当たるほど曲がっていると大変だったのですが、幸い内空については、この辺を少し削ったりしますが、元から造って直すというところまではいかなかったということで比較的早く直せました。

魚沼トンネルの復旧

(195k080m付近)

トンネルの被害と復旧(新幹線)

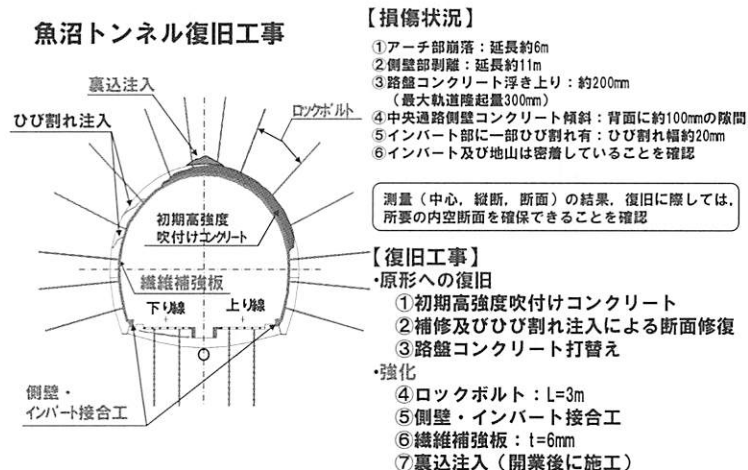


図-2.6 魚沼トンネルの復旧工事

これは直している状況です。軌道の下を全部取っ払いまして、下にロックボルト、上下打って補強して、それから内側に繊維補強の版をセットして、上側にコンクリートを打つ。それから、これは下側の路盤の壊したところを打ち直しているという状況です。

魚沼トンネルの復旧

(195k080m付近)

トンネルの被害と復旧(新幹線)

復旧後状況

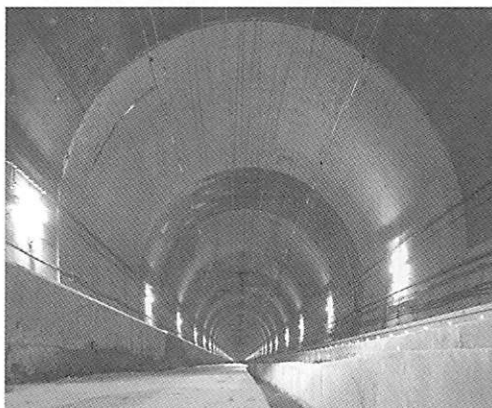


図-2.7 魚沼トンネルの復旧後状況

壊れたところを直した状況です。もう 1 か所、隣の妙見トンネルがやはりやられていました。ただ、ここはそれほどひどい被害ではありませんでした。天井がずっと縦方向にクラックが入って、こういうところが欠けて、小さなかけらが下にだいぶ落ちておりました。これは横方向からけっこう押されたのかなと思います。トンネルのいちばん天井の裏側はすいていますから、押されるとそこにひび割れが出やすいということで中央の天井部が壊れました。

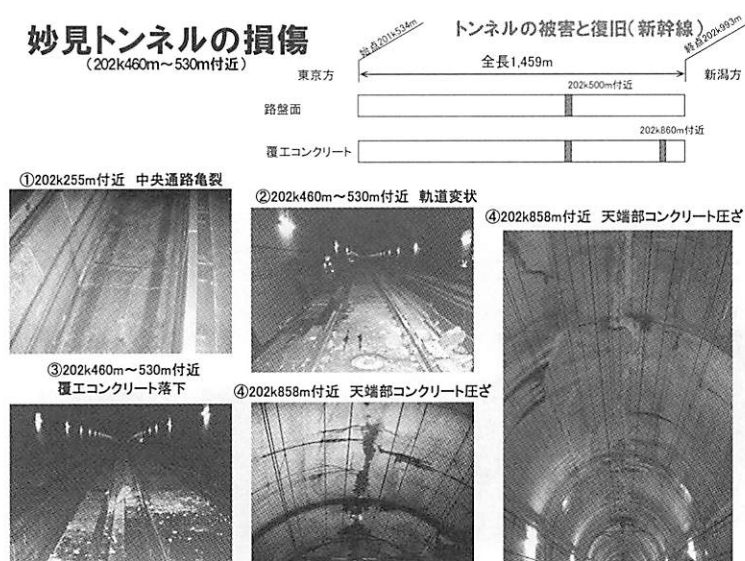


図-2.8 妙見トンネルの損傷

これも基本的に同じような直し方をしていまして、ロックボルトで地山と一体化させて、一部は路盤コンクリートを造り直す。あと内側に補強の板を、細かいものが落ちないようにつけています。

妙見トンネルの復旧

202k460m～530m付近

トンネルの被害と復旧(新幹線)

復旧工事施工状況



側壁部ロックボルト打設状況

路盤コンクリート打替え状況

図-2.9 妙見トンネルの復旧工事

これは途中のロックボルトの状況、あるいは路盤コンクリートの状況です。でき上がった状況です。橋梁は、先ほど話したトンネルの付近だけが比較的大きな被害を受けました。これが第3和南津という高架橋です。これは柱が8mくらいあるのですが、土の中に約4m埋まっています。そして、長岡付近は雪が多いので、この高架下に、冬の間雪を解かすために温水を作る装置が建物を造って置いてあります。そのための基礎が床に打ってありまして、本来8mの柱だと思ったものが、こういうところでスラブがあったりして途中で拘束されまして、

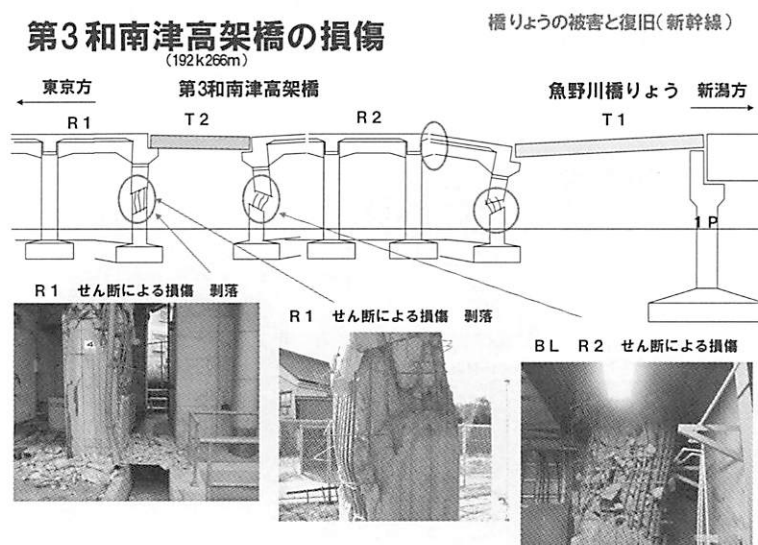


図-2.10 第3和南津高架橋の損傷

実際は4mくらいの柱になってしまったということがあって、本来曲げで壊れるものが、短かったのでせん断で壊れてしまいました。ですから、全部の柱が壊れたわけではなくて、拘束のある柱だけがこういう壊れ方をしております。直し方は、一部は少し柱が縮んでしまったので、それは鉄筋を切って、もう一回持ち上げて、鉄筋をつないで、コンクリートを打ち直して、それから耐震の補強をしております。

第3和南津高架橋の復旧

橋りょうの被害と復旧(新幹線)

第3和南津高架橋復旧工事 施工状況

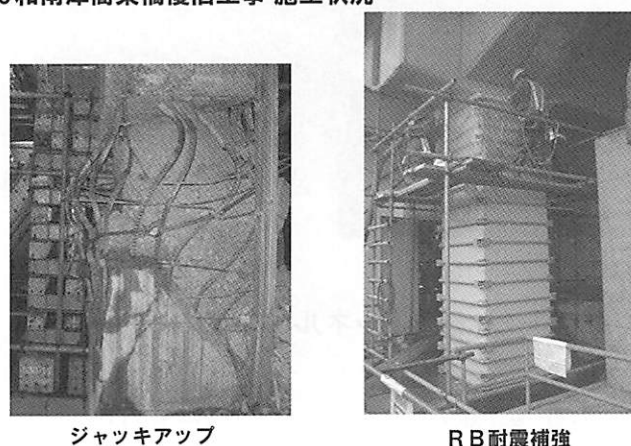


図-2.11 第3和南津高架橋の復旧

途中でこういうのを切り落としまして、持ち上げて、鉄筋をつないで、コンクリートを打ちます。耐震補強はいろいろなやり方があるのですが、ここは重機がなかなか入らなかったのので、人力でできる耐震補強をということで、基本的には鉄筋をボルトで、四隅でつないでいくのですが、このような方式の耐震補強をしております。

これは高架橋ですが、脱線現場の付近の高架橋で、この辺はせん断で壊れるようなものはもう鉄板を巻いてありました。曲げで壊れるものだけは何もしておりません。そういうものは壊れ方としては曲げで壊れますので、柱の上下のコンクリートが若干はがれます。当然、鉄筋は一回大きな地震が来ましたから降伏して、伸びて少しはらんだのでかぶりが外に落ちてしまったという損傷になります。でも、耐震性能は十分ありますので、この程度の損傷であれば、耐荷力的にもほとんど落ちていないので、いずれ補修はしますが、予想された損傷に収まっていました。

村松高架橋の損傷

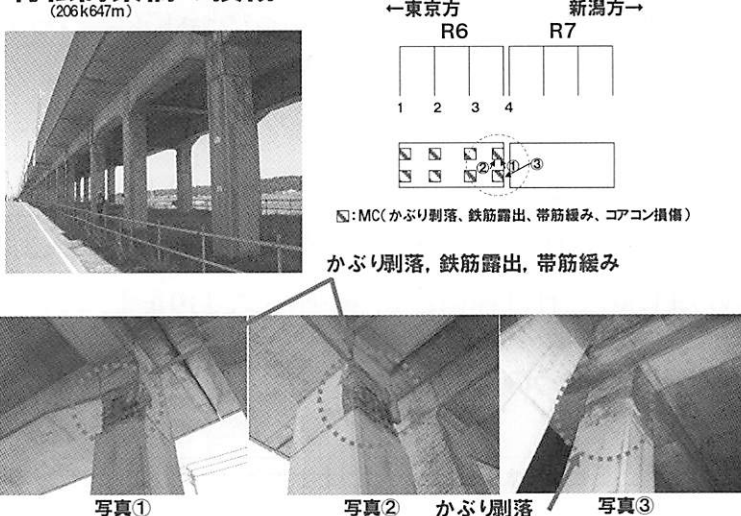


図-2.12 村松高架橋の損傷

村松高架橋の復旧

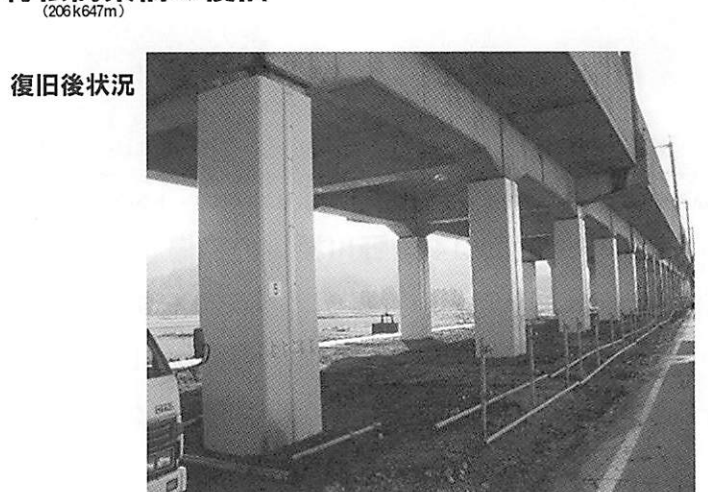


図-2.13 村松高架橋の復旧

直し方は、浮いているコンクリートを落として、もう一回鉄筋をちゃんと配置して、ひび割れがあれば注入します。斜めのひび割れがあるようなものは、耐震補強も併せてやっております。施工の途中のようすです。このままではちょっと格好悪いし、ついでにこれは鉄板で巻いて耐震補強もやってしまいました。終わった状況です。

もう1か所が魚野川橋梁です。河川内の橋梁で、ここがこのようにかぶりがはがれております。こういう橋脚ですと、モーメントが上に行くにつれて減っていきますので、経済的に考えて途中で鉄筋を減らしているのです。ちょうどここが鉄筋を減らしている場所で、そのために抵抗力がここで急に落ちますから、その部分で鉄筋が降伏してしまいました。地震で右左に揺すられて降伏した鉄筋が伸びますから、こう曲がったときにはこっちが伸びますので、今度反対に来たときに、伸びた鉄筋の行き場がなくて外側にはらみまますので、はらむときにコンクリートのかぶり部分、鉄筋の外側の部分をみんな落としてしまうという典型的な壊れ方です。こういう状況ですと、橋脚は大体上に伸びていまして、ひび割れが出た分だけが伸びています。これでも元の耐荷力はほとんど維持しているのですが、このままではちょっと不安感があるということもありまして、これは補修して、補強もしております。

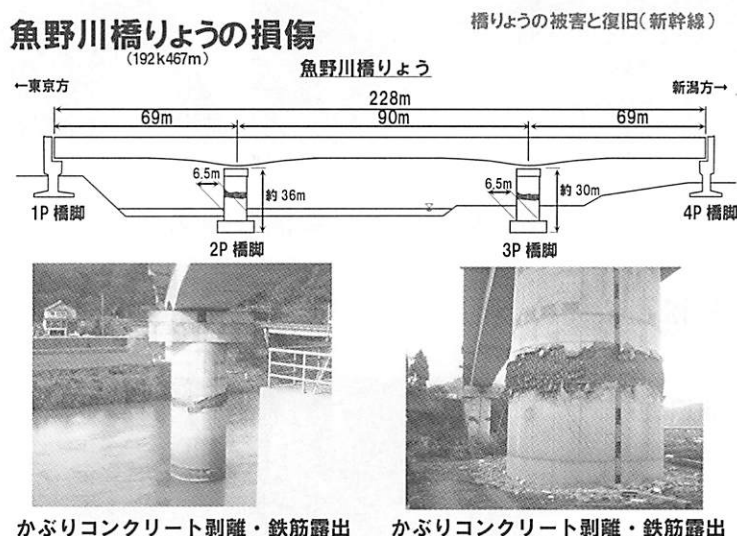


図-2.14 魚野川橋梁の損傷

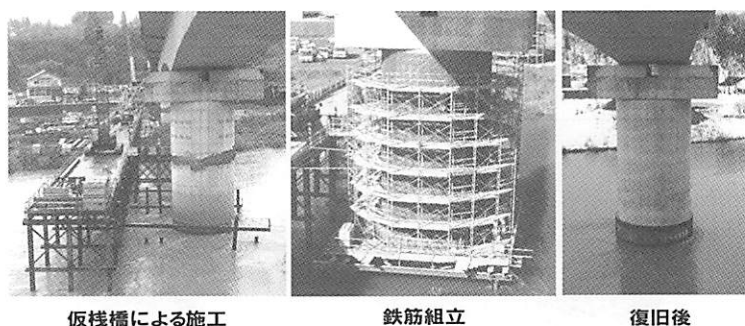
このときの補強は、水の中なので、閉め切りにしてやるのは大変なので、少し強い直線鋼矢板みたいなものがありまして、それをぐるっと周りに打ちまして、中にモルタルを詰めまして、下の水中部分は補強しております。上のほうは鉄筋コンクリートで補強しております。実際の施工の途中です。栈橋を造って、クラックは注入しますけれども、下のほうは、シートパイルといいますか、直線鋼矢板で継ぎ手も母材と同じだけの引っ張り強度を持てるようなものを使っていまして、それでせん断補強を兼ねて水中の補強をしています。上のほうは鉄筋を巻いて、型枠をやって、コンクリートを打っています。

魚野川橋りょうの復旧

(192k467m)

橋りょうの被害と復旧(新幹線)

魚野川橋りょう復旧工事 施工状況



仮橋による施工

鉄筋組立

復旧後

図-2.15 魚野川橋梁の復旧

それが終わって、24日、25日、26日とずっと、30km/hから160km/hという試運転をやって開通しています。十分安全とは思っていますが、それでも各構造物に全部ゲージを張って沈下を測定するというのをこの3日間やって、開通しています。

これは阪神の事例です。新潟中越地震ではこういうことは起こらなかったのですが、阪神のときにはPC桁がこのような落ちてしまったことがありまして、こういう場合どうして直しているかというのを参考に示します。

桁の損傷～阪神大震災より

PC桁の落橋 (山陽新幹線 阪急今津線路橋)



図-2.16 PC 桁の落橋

何か所かこういうPC桁が壊れていますが、これを壊してしまっって造り直すのはちょっと大変で、やはりこれをそのまま使うほうが復旧は早いということです。これはもともとこういうプレキャストの製品を8本並べて造っています。造ったときと同じようにもう一回これを8分割すればクレーンで持ち上げられますので、このままでは持ち上げられないので、一応持ち上げら

れる大きさまでもう一回分割して、下に道路や鉄道があるので、迷惑しないようにすぐどかし
て再利用しました。

桁の復旧～阪神大震災より

橋りょうの被害と復旧(新幹線)

【step3】道路上に仮置き

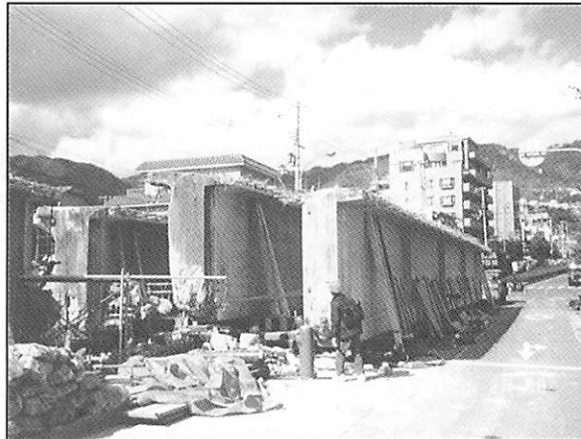


図-2.17 桁の復旧

こういうものが大体 8 本ありますから、それを 1 本 1 本に分けて、わきへクレーンでどかし
ました。一回わきに置いて、そこで補修をして、再利用して、並べてもう一回使っております。

2.2 在来線の被害

次は在来線の被害の話をします。在来線でひどかったのは上越線です。主に盛土の話を
します。これは上越線で、2 か所ほどかなりひどく、盛土が信濃川のほうに全部ザッと流れて

盛土の損傷

(上越線220km500m付近)

盛土の被害と復旧(在来線)

上越線220km500m盛土崩壊

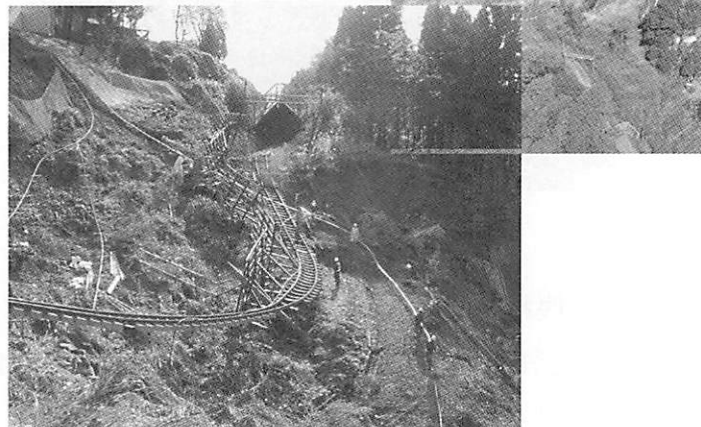


図-2.18 盛土の損傷

しまいました。ここはトンネルで、この片側にトンネルがもう1本あって、出口はこちらなのですが、このトンネルからずっと軌道が下に落ちてしまいました。

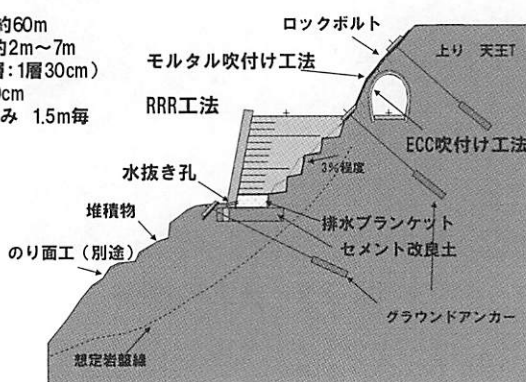
これはどうやって直すか。これは龍岡先生などとやっていた RRR 工法という方式です。本当はここまで岩で、岩まで掘ればいいのですが、岩まで掘るわけにはいかないので、一応堆積土をそのまま残して、ここに基礎を作って、セメント改良土を作って、あとはここに排水用の砂利を置いて、あとジオテキスタイルを中に入れて土を盛る、それからここに擁壁を作る、あとはこれが動かないようにグラウンドアンカーで押さえるという方式で復旧いたしました。

盛土の復旧

(上越線220k500m付近)

復旧工事(応急対策)

- ・施工延長 約60m
- ・盛土高さ 約2m～7m
(階数 23層:1層30cm)
※1層 30cm
- 全層敷き込み 1.5m毎



【参考】・10/20 20:00～10/21 10:00 …… 時間雨量 10～15mm, 連続最大雨量 110～135mm
・10/22 13:00～10/23 4:00 …… 時間雨量 6～13mm, 連続最大雨量 35mm

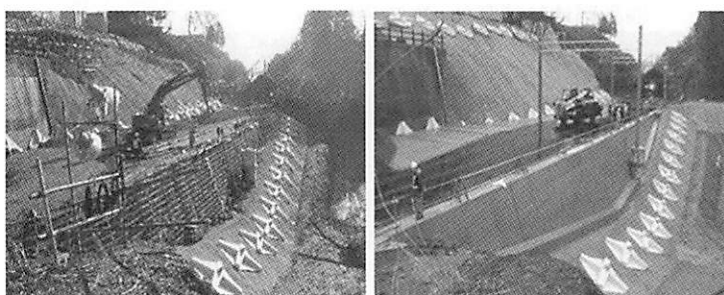
図-2.19 盛土の復旧工事

実は、復旧のしかたは幾つか考えたのですが、やはり土で戻すのがいちばん早いということでこの方式を採用しました。東京付近には余った鉄桁があるので、それを持って行ってここに並べようかと思ったのですが、それを持って行って並べるためには、やはりここに盛土でも

盛土の復旧

(上越線220k500m付近)

復旧工事(応急対策) 施工状況



③ 天王トンネル脇斜面
RRR施工状況

④ 復旧後

図-2.20 盛土の復旧工事施工状況

う一回工事用の通路を造らなくてはいけない。工事用の通路を造るのだったらこれを造ってしまったほうが早いということで、この工法を採用しました。

これは復旧の途中の状況です。それから、アースアンカーをやりました。これも上越線で前の被害箇所のすぐそばですが、やはり同じように盛土が崩壊しました。これはすぐわきに道路がありまして、道路も一緒に落ちているわけです。

盛土の損傷

(上越線221k000m付近)

上越線221km000m盛土崩壊



盛土の被害と復旧(在来線)



図-2.21 盛土の損傷

ここは比較的すぐ岩が出たので、一応岩まで基礎は落としていまして、ロックボルトで岩とつないで、同じような方式で復旧しております。いずれも実際の施工は1か月くらいで復旧しています。

これは在来線の橋で、鉄道は歴史が古いので、昔の橋はこういう無筋コンクリートや石積みがあります。これは石積みで、ずれたり水平のクラックが入って、コンクリートではないですが、圧縮側が圧座してはがれたりというようなものがけっこうあります。これはどういう耐震設

魚野川橋りょうの損傷

(飯山線95k915m)

飯山線95km915m 魚野川橋りょう 橋脚躯体ひび割れ、躯体ズレ



橋りょうの被害と復旧(在来線)



図-2.22 魚野川橋梁の損傷

計をしたらいいかよく分からないのですが、意外と無筋コンクリートのほうが、このように水平に積んでいるというのは、わきにすべってずれてくれて倒れないという意味でけっこう耐震的に強いのかなと思いました。これを芋継ぎではなくて、かえって強くなるようにずらして積むと、斜めになるのでかえってせん断で壊れてしまうと考えられるので、けっこう昔の人もそういうことを考えて橋脚は芋継ぎにしたのかなと思っています。

直し方は、こういう無筋はよく分からないのですが、とりあえず鉄筋コンクリートで今のルールで直しております。これを直すと当然基礎も補強しなくてはいけないので、応急的に上を直して、あとは今、基礎の補強をやっているところです。

魚野川橋りょうの復旧 (飯山線95k915m)

橋りょうの被害と復旧(在来線)

復旧後状況

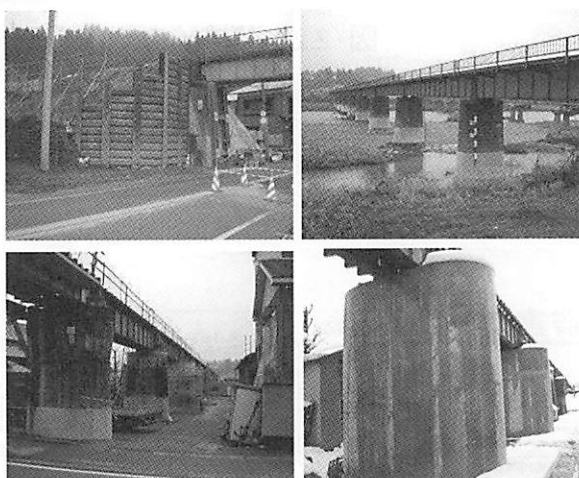


図-2.23 魚野川橋梁の復旧

在来線も、トンネルがやはり何か所かやられました。このトンネルの直し方については新幹線と同じようなロックボルトをやって直しています。

ここが榎峠で、車が埋まってしまった場所です。すぐ隣に上越線が2本ありまして、ここの片側はやはり上までふさがってしまったので、いちばん端の、これだけ出入口の土砂を少し除いて、この1本だけを使ってとりあえず運転を再開しました。現在は両方とも動かしています。

信濃川発電所の関係は、トンネル等は大したことはないのですが、一応信濃川から水を取って、これが浅河原、これが千手、これが小千谷、こういうところにダムがあるのです。アースダムなので、クラックが入ったということで、この部分を今全部はいで、もう一回盛り直しをやっていきます。

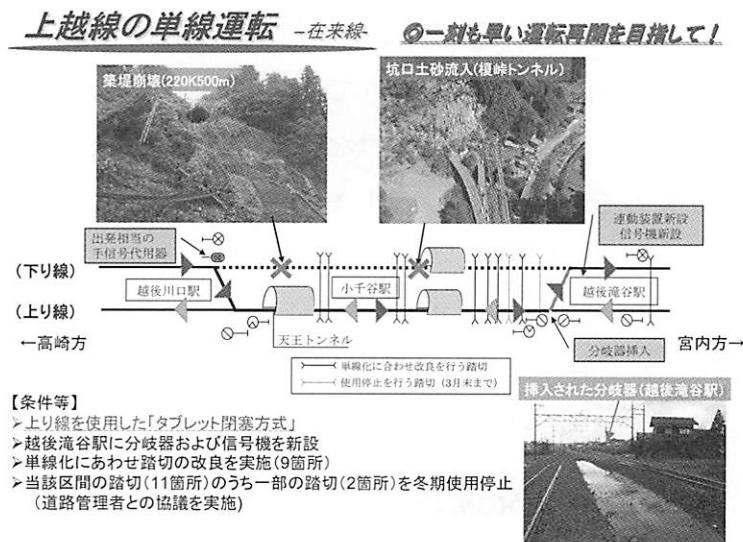


図-2.24 上越線の単線運転

ダムは我々だけでかつてに直すわけにいかないの、国交省、通産省の許認可事項なので、委員会をやって、委員会にお墨付きをもらって一歩ずつ進むという方式でやっています。

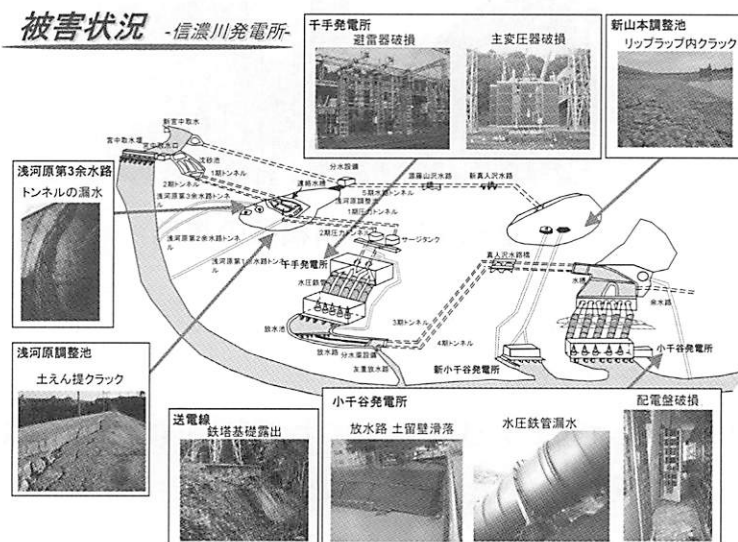


図-2.25 信濃川発電所の被害状況

この辺は多分知っている人は多いと思うのですが、高架橋などの直し方です。鉄筋が降伏するというのは、ひずみでは大体 2000 μ です。実際に地震でどのくらいまで伸びるかという、鉄筋は 2~5%くらい残留ひずみが残ります。実際の鉄筋が切れるまででは 20%くらい伸び能力がありまして、そういう意味では、切れるまでに比べればまだ手前です。当然、伸びるということはかなり鉄筋が曲がっていますから、まっすぐにするにはもう一回戻さなくては

いけないのですが、そのときにもう一回 1000℃くらいで温めて戻しますと、実は残留ひずみも消えてしまいます。もともと鉄筋そのものは溶かして作っていますから、ほとんどこのくらいまで熱すると元の状況に戻るということです。降伏したからといって中途半端な熱で戻しますと、ちょっと伸びが足りないということが起こりますが、ちゃんと管理して戻せば十分、元とあまり変わらない強度や伸びに戻ります。

コンクリートは、もともと圧縮しか期待しておりませんから、外にはらみ出さないようにひび割れに注入すれば大体元に戻ります。それから、今はいろいろなものを簡単にジャッキで動かします。テフロン板とジャッキを使えばほとんどのものは簡単に動かせるということで、壊れたといってもそんなに心配しないで元の状況に戻せます。

降伏した鉄筋を、熱処理してもう一回引っ張ったときの試験をいろいろやりました。例えばこれは母材を引っ張ったときの強度と伸びです。これを 5%残留ひずみ、あるいは 10%、15%で、そのまま引っ張ると、強度は当然上がりまして伸びが落ちてしまう。これを例えば 850℃くらいで熱処理すると、ほとんど強度も伸びも特性が変わらないということになります。

これは補修した場合としない場合です。赤いのがむくの状態、何の損傷もない状況で、荷重をかけて繰り返した場合です。補修した場合の履歴がこのようになります。樹脂で補修したり、注入する材料によっては強度が上がったりします。大体、鉄筋がひずみ硬化を起こしているのだから強度が上がって、あまり履歴の形状は変わりません。

予ひずみを与えた鉄筋の応力－ひずみ関係

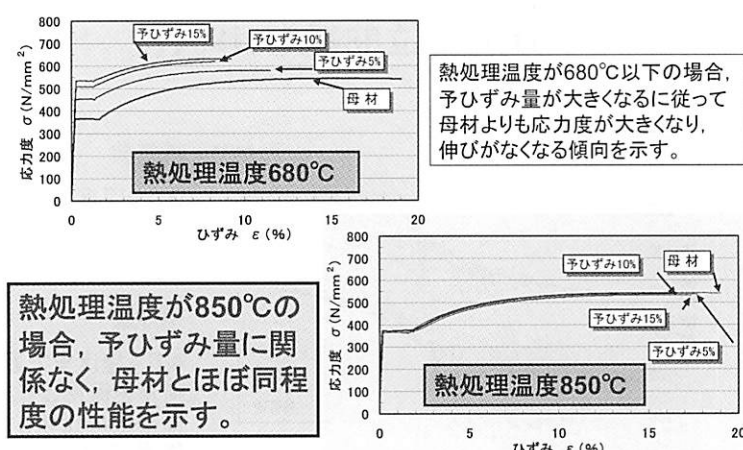


図-2.26 予ひずみを与えた鉄筋の応力－ひずみ関係

2.3 耐震補強について

これは実際に補修した場合の状況です。ちょっと耐震設計の歴史の話をします。もともと耐震設計というのは明治のころはなくて、鉄道でいちばん古いのは、大正 8 年の基準に 120～140gal と書いてあります。昭和 5 年のときに 200gal というのがあります。関東大震災が大正 12 年ですから、そのあとでこういうものができています。関東大震災の前にも一応こういうものはルールとしてはあったようです。

これは単に水平力をかけるだけで、今の耐震設計との大きな違いは、強度のほかに粘りを持たせて地震力に抵抗しようということではなく、単に水平力だけ決めていているということです。ですから、帯鉄筋がちゃんと入っていれば大きな地震も持ちますが、帯鉄筋がないとこの設計震度くらいで壊れてしまいます。

鉄道は昭和 58 年に、一応地震力の震度としては 200～250gal ですが、柱に粘りを持たせる規定を入れて、エネルギー的には 1000gal まで持たせるようなルールに変えています。これは建築基準法が昭和 56 年に変わっていきまして、基本的には建築とほぼ整合を取る格好で 1000gal になるようなルールにしています。

現在、平成 7 年に兵庫県南部地震が起こって、これで実は最大の地震力が 2000gal という大きなルールになっています。それに合わせて平成 11 年には最大 2000gal くらいの地震のエネルギーに強度と変形で耐えるようなルールが変わって、現在これで設計が行われるというような歴史です。

荷重変位曲線(HD-A1)

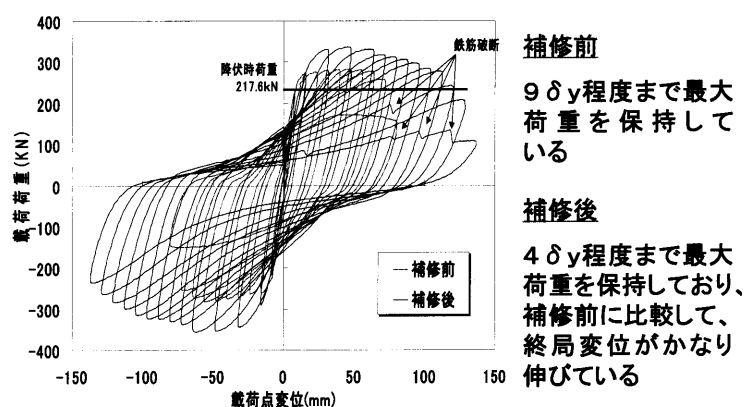


図 2.27 荷重変位曲線

昔はルールとしては震度だけ決まっていたので、ここから先どう伸びるかというのは何のルールもなかったのです。ですから、人によって、心配な人は帯鉄筋を入れて粘りがあるものになっているし、そうでない人のものはすぐに壊れてしまいます。

耐震設計の歴史

高架橋・橋りょうの耐震設計の変遷

基準類	設計に用いる地震の大きさ	耐震性能	発生した地震 (M:マグニチュード、 地震の規模を表す)
大正8年 橋台橋脚標準心得	120～140gal	柱にねばりを持たせる規定がない	大正12年 関東大震災(M7.9)
昭和5年 橋梁標準設計	200gal	200～1000gal	昭和39年 新潟地震(M7.5)
昭和58年 建築物設計標準	200～250gal	柱にねばりを持たせる規定を制定 1000gal	昭和43年 十勝沖地震(M7.9)
平成11年 鉄道構造物等設計 標準・同解説 耐震設計	200～400gal	1000～ 2000gal	昭和53年 宮城県沖地震(M7.4)
			平成7年 兵庫県南部地震(M7.2)
			平成15年 三陸南地震(M7.0)
			平成16年 新潟中越地震(M6.8)

図-2.28 耐震設計の歴史

松本嘉司先生が国鉄のときに担当したのですが、海外の設計図を参考に、帯鉄筋がいっぱい入っていたのでそれに倣っていっぱい入れたということで、東海道新幹線は実は比較的粘りがあるような柱になっています。山陽新幹線からは、土木学会の指針が、せん断の許容応力度が 7kg/cm^2 と、かなり大きな許容値が、示方書に示されていて、それに依って経済設計をやったので帯鉄筋が非常に少なくなっていました。途中で、せん断の許容応力度が大きすぎるというのが分かって 3.2kg/cm^2 か何かに学会は落としているのですが、その間すでに 7kg/cm^2 のルールで帯鉄筋を配置した構造物があります。そういう意味で、山陽新幹線以降しばらくの間のは、せん断が非常に弱い設計になっています。ルールがないときは心配で入れたのですが、ルールができたのでルールどおりにやって弱いものができてしまったという時代があります。

昭和58年以降は1000galの耐震性能になるように、変形を降伏の4倍くらいは最低取れるようにしてあります。兵庫県南部地震以降は、部材としてはさらに帯鉄筋をいっぱい入れまして、降伏変位の10倍くらいの変形まで粘るような配筋をやっているというのが現状です。

配筋は、昭和58年ごろは柱を包んでいる鉄筋が断面積の0.2%くらいです。平成7年の阪神の地震以降は、それが1%くらい入っています。最近多く採用しているのは、柱の内側に円形のスパイラルを入れるということです。三鷹と立川の高架化とか、最近の高架橋はこういう配筋を比較的多く採用しております。

耐震設計の歴史

柱部材のせん断補強鉄筋の変遷

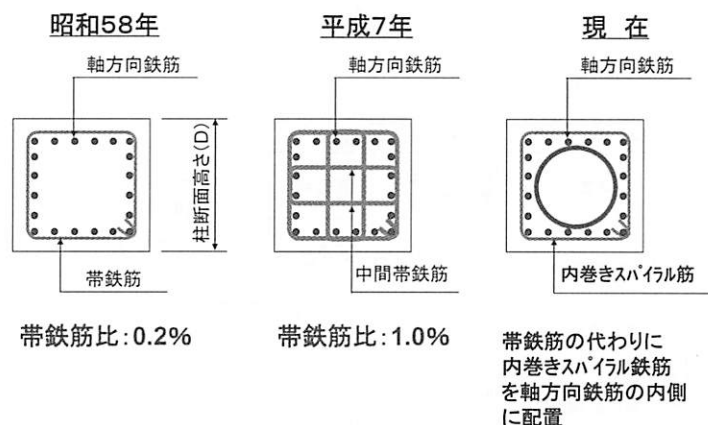


図-2.29 柱部材のせん断補強鉄筋の変遷

いろいろな本には「帯鉄筋は主鉄筋の外側に巻け」と書いてあるのですが、主鉄筋にそのまま帯鉄筋を巻きますと、鉄筋が降伏してはらむときに帯鉄筋をみんな外へはじいてしまうのです。そういうことで、このヒンジゾーンは主鉄筋の内側に巻いたほうが効くということで、このような配筋をやっております。

普通に配筋した場合はこういう黒い線になりますが、内側にスパイラルを巻きますと、いつまでもたってもコアコンクリートが壊れませんので、ずっと変形に耐えます。こういう壊れ方になります。普通の配筋ですとこのようになりますが、内側にスパイラルを巻いておきますと、スパイラルの中はいつまでも壊れない。これは降伏の20倍までいってもこんな状況です。

過去に造ったものを今どうやって補強しているかというと、阪神の地震のあとにすぐに補強

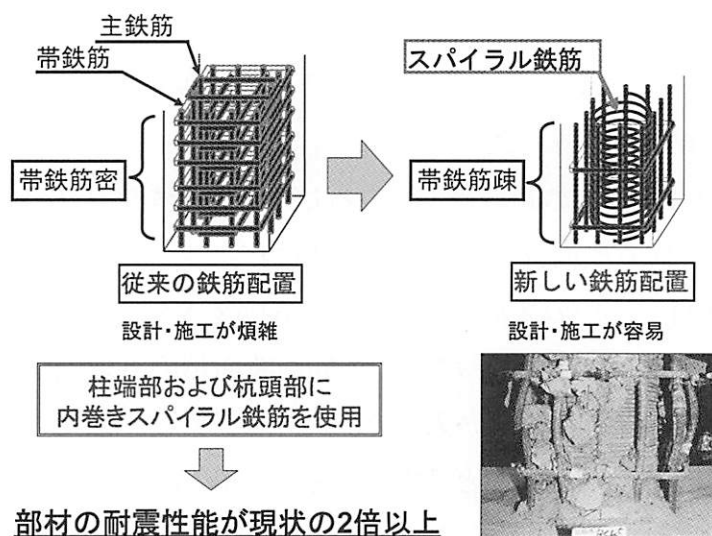


図-2.30 内巻きスパイラル

したのが関東と仙台、あと断層があるところはすぐに緊急耐震補強ということで補強しました。新幹線が 95 年から 98 年の 3 年間で、在来線が 5 年間でやりました。これはそのときの各社のようすです。

実は三陸南地震はこの緊急でやったエリア以外だったのです。地震の予知からいくと、あの辺は地震が起こらないことになっていたのですが、そういうところでも起こったということで、エリアを限定しないで、どこに起こるか分からないという考え方に変えまして、それ以降、全線にわたって補強するということにしました。目標は 2008 年度だったのですが、今は 2007 年度ということに変えています。中越地震が起こったので、1 年前倒しするということで補強をやっております。

現在、2008 年、2007 年度までに補強を終えるということでやっています。残っているのは、都市部の高架下を利用しているテナントがいる場所です。協議を今やっているのですが、けっこう難航しております。これを早くやれと言われているのですが、なかなか進まないということがあります。

実はそういうところは機械が入らないので、人力でやる方法、あるいはこういう片側の一断面から中に入らないでやる方法を開発してやっております。それからこれは、溶接をしないで、現場ではこういう機械式なかみ合わせで鉄板を巻く方法とかを開発して採用しています。

代表的な耐震補強工法

① 鋼板巻き補強工法



一般的な箇所

噛合せ継手による
施工の省力化

② RB(Rib Bar)工法



・狭い箇所
・人力施工

③ 一面耐震補強工法



・店舗等が利用
している箇所

図-2.31 代表的な耐震補強工法

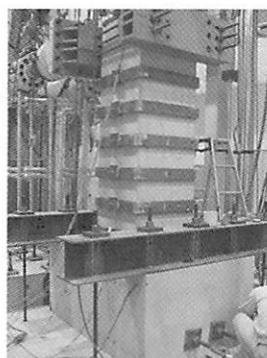
これはそういうものの実験をやっている途中です。いずれにしても何回か巻けば、こういうすぐ壊れてしまうものも、このような非常に変形能力が増えます。これはコンクリートを巻かないで単に外側に鉄筋で巻いただけです。

このような破壊形態をしているものは、このような壊れ方に変わります。これは人が中に入れないということで、外側の一面だけで鉄板とボルトでやる補強です。本当はやりたくないのですが、どうしても中に入れないところはこんな方法をやっております。同じような人力でやる方法として、これはプレートをかみ合わせ継ぎ手を使ってやっています。

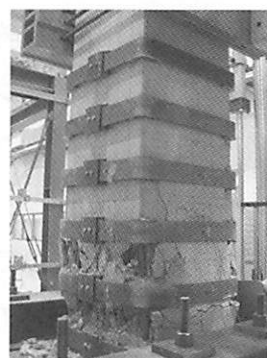
これは実際の状況です。柱を太くしたくないということのためには、0.8mmの鉄板を直接柱に巻きつける方法もあります。これは接着剤でつけるのですが、このような補強もやっております。

正負交番載荷試験状況

RP工法



載荷試験前



載荷試験中

図-2.32 RP 工法

施工試験状況



薄板取付け状況①



図-2.33 薄板接着工法

ちょっと駆け足でしたが、地震の被害の復旧と耐震設計、耐震補強の話をさせていただきました。

3. 道路橋アセットマネジメントと安全性確保

金氏 眞 (鹿島建設株式会社 土木管理本部土木技術部リニューアルグループ長)

略歴

金氏 眞 (かねうじ まこと)

1971 年 3 月 京都大学工学部土木工学科卒業

1973 年 3 月 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻修士課程終了

1973 年 4 月 京都大学工学部土木工学教室助手

(1975~78 年 アメリカ合衆国インディアナ州パデュー大学留学 博士号取得)

1979 年 4 月 三信工業(株) 取締役技術開発部長

1984 年 10 月 三信カーテンウォール(株) 取締役技術部長

1988 年 11 月 東高ハウス(株) 海外事業部長

1993 年 4 月 鹿島建設(株) 土木技術本部

(1996~98 年 土木学会論文集編集委員会第 6 小委員会委員長兼任)

1998 年 10 月 鹿島建設(株) 土木技術本部リニューアル室長

2003 年 7 月 鹿島建設(株) 土木管理本部土木技術部リニューアルグループ長
現在に至る



ただいまご紹介にあずかりました金氏です。先ほどの石橋さんのお話は、耐震の問題に関するものでした。私のほうは、道路橋のアセットマネジメントについてのお話をさせていただきたいと思います。

3.1 社会資本のアセットマネジメントについて

今日は、最初に社会資本のアセットマネジメントということで、土木学会アセットマネジメント研究小委員会に参加して勉強させていただいた内容などを中心にお話しさせていただきます。

2 番めは、道路橋アセットマネジメントシステムの構築事例ということで青森県の事例をお話しすると同時に、社会資本の安全性確保という観点から、このようなマネジメントシステムがどのようにかかわっているのかということを間に挟んでお話をさせていただきたいと思います。

まず、社会資本のアセットマネジメントの概要をお話しさせていただきます。アセットマネジメントというのは、もともとは個人や私企業の資産管理の分野で発達してきたマネジメント手法です。昔は、資産を不動産、株、あるいは貯蓄というようなものに分けて投資したほうが良いと言われていました。しかし、昨今では時々刻々と変化する資産価値変動、あるいは運用利回りをいろいろなデータに基づいて予測して、その資産の最大化を図るマネジメント手法として発達してきています。このようにアセットマネジメントというと、金融関係、銀行、あるいは信託銀行などで出てくるものなのですが、これを道路など社会資本維持管理へ導入しようという動きが、諸外国を中心に、例えばイギリス、ニュージーランド、オーストラリア、あるいはアメリカなどで起こってきたということです。

アセットマネジメントというと聞き慣れない言葉ですが、社会資本、道路構造物といったものからちょっと離れて、計画的な観点からお話をされることが多いようです。社会資本のアセットマネジメントの定義はいろいろありますが、土木学会の研究小委員会の最終報告では、「社会資本のアセットマネジメントとは、国民の共有財産である社会資本を、国民の利益向上のために、長期的視点に立って効率的、効果的に管理・運営する体系化された実践活動。工学、経済学、経営学などの分野における知見を総合的に用いながら、継続して行うものである」と定義しています。

アセットマネジメントを社会資本の維持管理に適用しようとする背景ですが、まず第一に、財政が厳しいということがあります。実際に税収の伸び悩みがあり、全体予算の縮小傾向があります。また、高齢化社会に向かって、福祉などの支出増によって予算獲得競争が非常に激しくなっています。人間だけではなくて社会資本もたくさん蓄積されてきて、それが

同時に高齢化してきて、維持管理対象が急激に増加してきています。作るときは、社会資本を作ったことによるいろいろな便益があるのだ、という説明がなされるのですが、いったん作られてしまうと、通常の予算の中では便益評価はなされないの、維持管理費というのは単に支出としてしかとらえられない。そうすると、作れば作るほど支出がどんどんかさんでくるということです。それをやはりきちんと説明しないといけない。

そこで、財政改革の観点から、社会資本はりっぱに便益を生み出している資産なのだという認識を持ってもらうということで、公会計の転換やインフラ会計の導入が図られています。現在行政が採用している単式簿記では貸借対照表がないので、資産評価がされない。社会資本が正当に資産として評価されれば維持管理費に対する見方が変わってくるのではない。貸借対照表のある企業であれば、いろいろな施設をたくさん持っているそれだけ資産として評価されるわけですから、資産に見合う何らかの費用は発生してしかるべきだという説明ができるのですが、公会計ではそういうことができない、というのが一つのポイントです。

2 番めには、管理技術者の不足があります。行政改革から人員削減の要請がある。一方で、経験豊富な技術者がどんどん少なくなってきていて、技術の伝承が難しくなってきている。また管理に携わる土木技術者が、エンジニアとしての業務ではなくて、マネジメント業務に集中してきているということから、必然的に性能規定へ移行せざるを得なくなってきており、将来的には維持管理業務をアウトソーシングをするという傾向に向かっています。そうすると、目標と意思決定ルールを明確にしないといけない、ということになります。

3 番目には、IT が目覚ましく発展してきているという背景があります。従来から、社会資本の維持管理は実施されてきていました。個別構造物の維持管理の最適解というのは、例えばこの橋梁は、あるいはこのトンネルは、という個別の構造物に対しては経験のあるエンジニアに依頼すれば、どのようにすればいいという解答は可能であった、ということなのですが、数多くの構造物がある中で、しかも予算制限がある中で、多くの構造物に対して最適解を求めるのは非常に難しい。予算制限が全くなければ、それぞれの構造物に最適な維持管理計画を実施すればいいというだけの話なのですが、どうしても全体の予算の制限があるとそういうことができない。したがって膨大な量の解析が必要になります。今まではそこであきらめていたのですが、ITが目覚ましく発展してきたということで、膨大な量の計算を処理することができるようになりました。

それから、4 番めには行政手法の転換ということで、NPM(ニュー・パブリック・マネジメント)ということが言われてきております。これは、納税者や施設利用者を顧客としてとらえ、顧客満足度を高めようという動きがあり、積極的な情報の公開をし、きちんとした説明責任を果た

すということが求められています。また、民間企業の経営手法を行政に導入することが求められていて、PDCA(プラン・ドゥ・チェック・アクション)のサイクルを回して、結果をフィードバックし、データを蓄積するということが求められています。

こういった中で、社会資本の維持管理は、将来的には、先ほど言いましたニュー・パブリック・マネジメント型のアセットマネジメントに向かう過程で、LCC 型から PPBS 型、それからニュー・パブリック・マネジメント型へと進んでいく、と言われております。

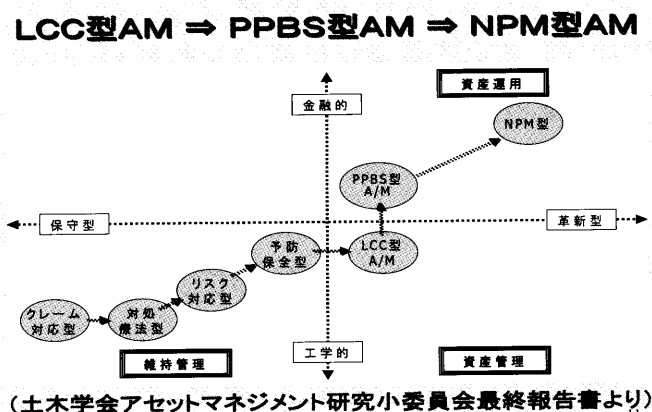


図-3.1 社会資本の維持管理

LCC 型は、ライフサイクルコストの最小化によって維持管理の最適化を目指す方法で、PPBS 型のさらに先の、NPM 型は、先ほど申しましたように、投資や資産価値の関係を把握して、どこにどういう投資をすることが妥当であるかということを合理的にやるようなシステムです。しかし、LCC 型アセットマネジメントでライフサイクルコストを最小化しよう、あるいは平均費用の最小化をしよう、ということを目的に、維持管理を実施しようとしている段階です。したがってこれから先は、LCC(ライフサイクルコスト)型のマネジメントに限定してお話をさせていただきます。

アセットマネジメントを実施するには、いろいろなことを考えていかなければいけないのですが、全体計画の中では、数多くある対象資産についてどのような基本方針のもとに管理していくか、それから、システム構築を考えていく場合には、どの施設を対象として行うか、ということを考えなければなりません。

また、その中で、行政上の上位計画である地域の振興計画、あるいは納税者、利用者にどのように説明ができるのか、といったことと同時に、予算を含めて資金のマネジメントをどのようにしていくか、実際に運用する場合の人材をどのようにマネジメントしていくのか、といった観点から全体計画を考える必要があります。

社会資本といっても、道路、鉄道、河川、上下水道、といったいろいろな施設がありまして、その中で道路を取り上げてみても、橋梁、トンネル、斜面、舗装と、いろいろな構造物があるわけです。したがって、社会資本のアセットマネジメントを考えるときに、インフラ会計や資産評価の方法など、社会資本全体に対して共通の大きな網をかけると同時に、それぞれの社会資本、構造物に固有のものとして整備の基本方針、あるいはマネジメントシステムの構築手法を考えていかないといけません。

それから、もう一つの重要なポイントですが、個別資産のマネジメントと資産群のマネジメントという、この二つをバランスよく考えていくということが必要です。個別資産のマネジメントは、ミクロマネジメントという言葉で呼ばれることもありまして、個別資産に着目したマネジメントであり、管理事務所単位でのマネジメントとして使われることもあります。個々の対象物が見えるレベルのマネジメントを指しております。一方で、マクロマネジメントというのは、資産群全体に着目したマネジメント、あるいは組織的には部局全体としてのマネジメントとして使われていますが、このマクロマネジメントの段階では、個々の構造物、どの橋梁のどの部材という個々の対象物が見えない状況でのマネジメントです。この二つのマネジメントの間にどのような関連性を持たせるかというのが、一つの大きなポイントであろうと思います。

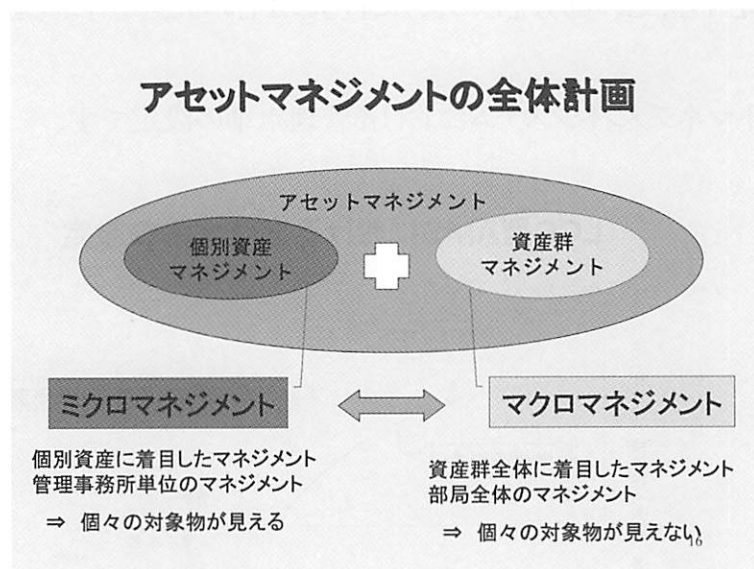
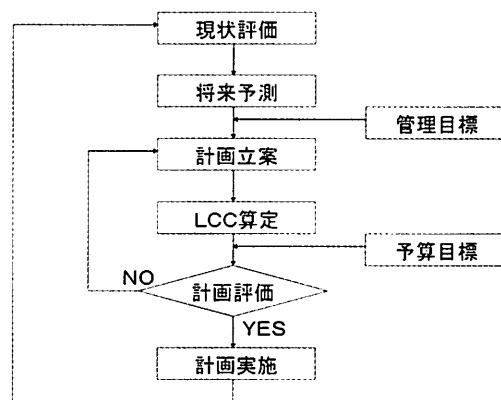


図-3.2 アセットマネジメントの全体計画

LCC 型アセットマネジメントとはどのようなものであるかを理解していただくために、一般的なフロー図を紹介します。まず、現状評価をします。現状評価に基づいて将来予測をします。そこであらかじめ設定されている管理目標に従って計画の立案をします。その計画に対してライフサイクルコストの算定をし、これが予算目標に対して合致するかどうか、整合性があるかどうかということを評価します。その段階で予算目標に合致していなければ、もう

LCC型アセットマネジメントのフロー



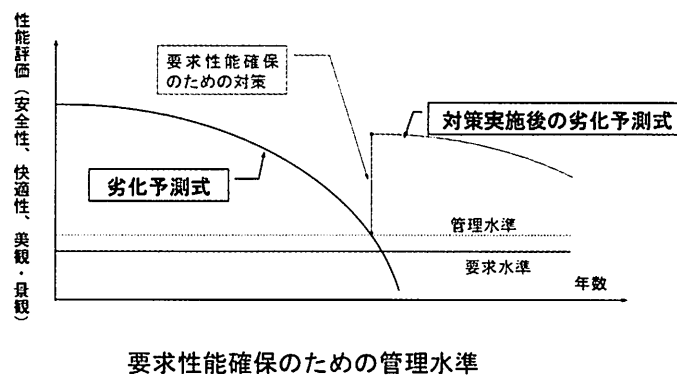
18

図-3.3 LCC 型アセットマネジメントのフロー

一度計画の立案をやり直します。予算に合致していれば、そこで計画を実施します。それを繰り返して、現状評価に戻って、PDCA のサイクルを回していく、このような形になるのですが、この将来予測をするという部分と、計画を立案する、それから、計画に基づいてライフサイクルコストを算定する、この部分をどのように行うのかということを今から説明させていただきます。

LCC 型アセットマネジメントシステムにおける管理水準の設定です。

LCC型AMSにおける管理水準の設定



20

図-3.4 LCC 型 AMS における管理水準の設定

縦軸に性能(安全性, 快適性, 美観・景観等々)をとり、横軸に年数をとりますと、このような形で徐々に性能が低下していくと言われておりまして、通常は劣化予測式と呼ばれていま

す。性能確保に関する最低限の要求水準がありまして、当然その要求水準以上で管理をしなればいけませんので、管理水準が要求水準よりも上のところで設定されます。性能が低下し、管理水準に至った段階で要求性能を確保するために対策をします。対策を実施すると、またその対策後に何らかの性能劣化があります。

通常は、このような概念的な考え方に基づいて管理が行われるわけですが、アセットマネジメントでは、資産群のマネジメントにおいて、例えば橋梁については一つの橋梁ではなくて 1000 橋とか 2000 橋といった数多くのものに対して、全体予算の最適化を図る必要があります。したがって、すべての構造物、あるいは資産に対して管理計画を立てても、対策時期が重なると予算の都合で全ての対策を実施できるとは限りません。そのために、最適シナリオだけではなくて複数の維持管理シナリオを設けておいて、管理水準を多様化しておくことが必要になります。

そこで、先ほどの性能と年数のグラフに戻りますと、例えばこのような劣化予測式があったとしますと、先ほどと同様に、最低限の要求水準があるわけです。

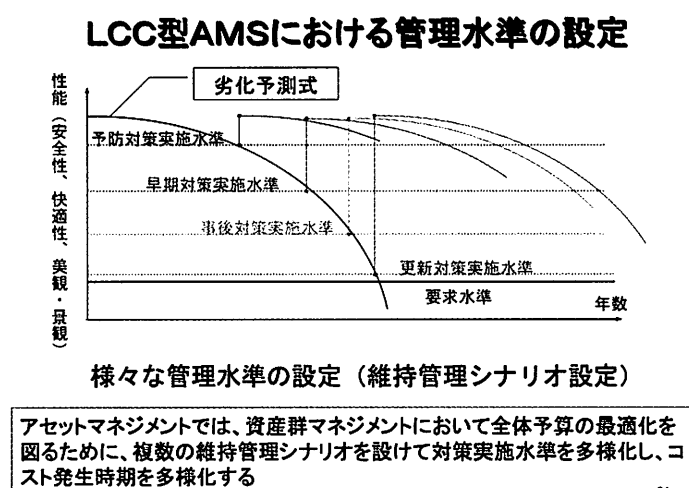


図-3.5 LCC 型 AMS における管理水準の設定

それに対して、予防的な対策を実施するような管理水準と、劣化現象が現れたときにできるだけ早く手を打つ早期対策の管理水準と、ある程度劣化が進んだあとに対策をする事後対策の管理水準と、最終的にもう取り替える、更新をするといった管理水準。このような幾つかのレベル分けをしておいて、全体最適を図ることが必要になってきます。これは、金融資産等々で行われるポートフォリオと同じ主旨でありまして、いろいろな選択肢を持っておく、ということが全体最適のために必要だということです。

そこで、シナリオ設定をしてライフサイクルコストを算定するわけですが、例えば管理水準をこのように設定した場合のケース 1 では、それぞれ対策を行った段階でコストが加わっていき、ライフサイクルコストはこういう形になります。

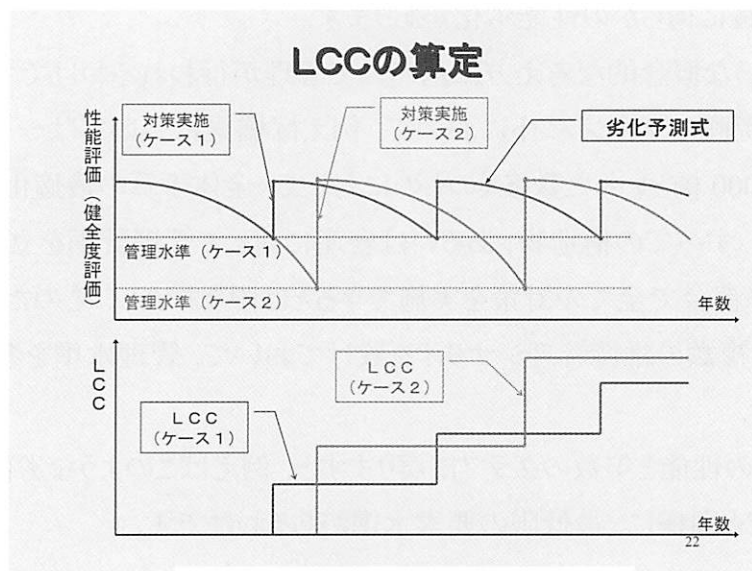


図-3.6 LCC の算定

しかし、管理水準を低くすると、それだけ対策をする時期が遅くなりますが、一般的には、劣化が進んでからの対策はかなりコストが高くなると言われていますので、ライフサイクルコストは高くなります。このようなケースを幾つか設定して、LCC の比較をするわけです。

各種の数多くの構造物や施設に対して複数の計画を立案し、ライフサイクルコストを算定しますと、次にはそれらをまとめて全体予算としてどのような形になるかという計画の評価をします。資産群マネジメントで行われる全体予算の算定です。

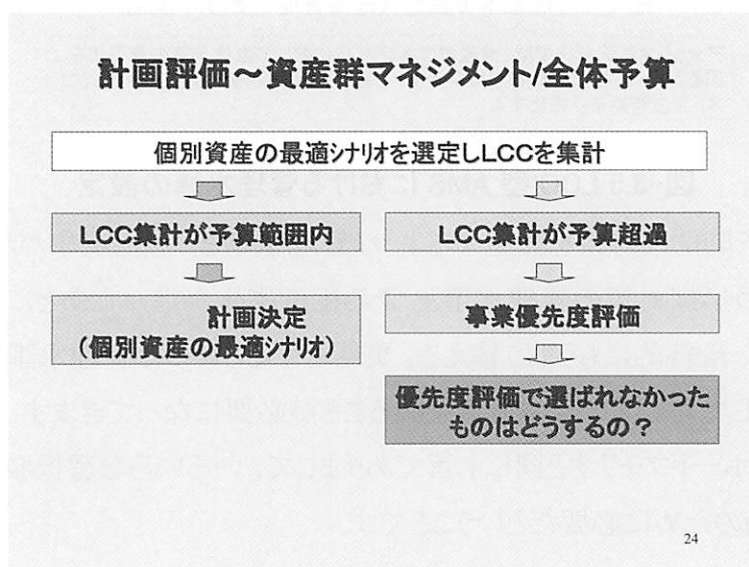


図-3.7 全体予算の算定

通常はまず個別資産の最適シナリオを選定します。それぞれの LCC を算定してその結果を集計し、その集計値が、例えば予算の範囲内であり、十分予算として認められる、ということになりますと、その最適シナリオの LCC 集計がそのまま計画として決定されるということになります。

ところが、通常はそうはいかない。よく言われているのは、予算がとても足りないということです。LCC の集計値が予算を超過してしまうとどうするかというと、現在行われているのは、事業優先度評価です。例えば 20, 30 とたくさん手当てをしないといけない施設があるのだけれども、予算の制限があるので全部はできない。そこでどれから先に手をつけていいかということで、事業優先度評価が行われるわけです。

ところが、この手法だと、優先度評価で選ばれなかったものはどうするのか、と言えば、その解答がないのが現状です。このような状態だと、例えば A, B, C という橋が三つあったとすると、A のほうが事業優先度が高いのでこれをやります、ということになるのですが、それでは B はどうなるのですか、C はどうなるのですかということ、その質問に対しては説明できない。したがって、LCC の集計が予算範囲内で収まる、最適シナリオで、すべてが収まる場合はいいのですが、集計値が予算を超過した場合には、あるものは最適解ではないけれども次善の策を選ばざるをえないということで、シナリオを変更する必要があります。そこでシナリオを変更して LCC の再集計を行います。

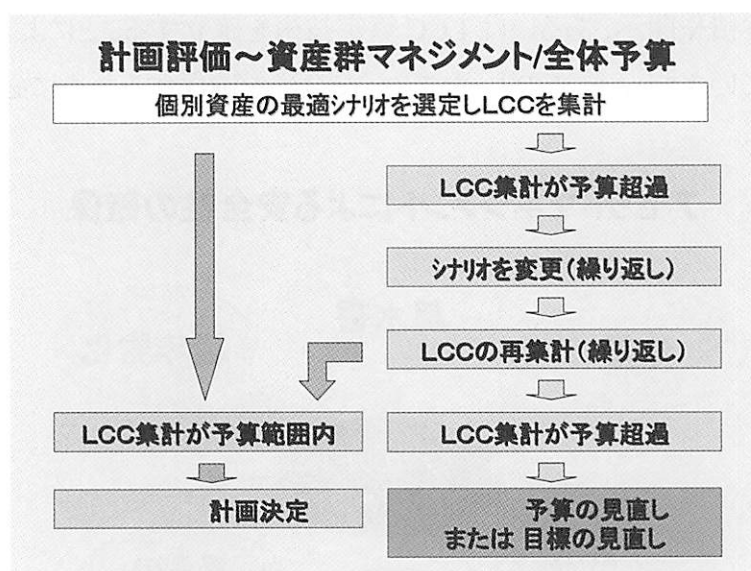


図-3.8 LCC の再集計

シナリオを変更して予算に収まった、ということになればいいのですが、何度これを繰り返してもどうしても予算的に収まらないという場合には、原点に戻って、予算の見直しあるいは

目標の見直しが必要です。ここまでいかないと、資産群のマネジメントはできない、ということです。

では、このような LCC 型のアセットマネジメントで安全性がどのように確保されるのだろうか、ということをお話しします。社会資本の安全性を脅かすものにはどんなものがあるかというと、先ほどのお話のような地震、あるいは今アメリカにたくさんの被害をもたらしている風水害があります。それと、アセットマネジメントで主として取り扱っている経年劣化があります。

実際はこの三つだけではなくてその他に、マネジメントをする人材がいない、判断できる人がいない、人はいても十分な技術力を備えていない、あるいは予算が足りない、実際問題としては十分管理ができていないというようなことが、安全性を脅かす要因になるのではないかと、ということで非常に懸念されているわけです。

このような要因に対してそれぞれ安全性を確保するためには、例えば地震に対しては耐震対策やリスクマネジメントを行う、風水害に対しても同じように異常時管理をする、あるいは経年劣化に対しては日常管理、計画管理をやるということが考えられる訳です。

人材不足に対しては、人材教育をしましょう、あるいはきちんとした人員を配置しましょう。技術力が足りないということに関しては、人材教育をきちんとやっていきましょう。また、メンテナンス情報がなかなか公開されない、あるいは蓄積されていないのですが、これに対してはメンテナンス情報を蓄積し、開示していきましょう。予算不足に対しては、このようなメンテナンス情報の蓄積や開示、あるいは LCC 算定技術を確立することによって、きちんと予算の必要性を訴えていきましょう。このようなことが安全性を確保するために必要なわけです。

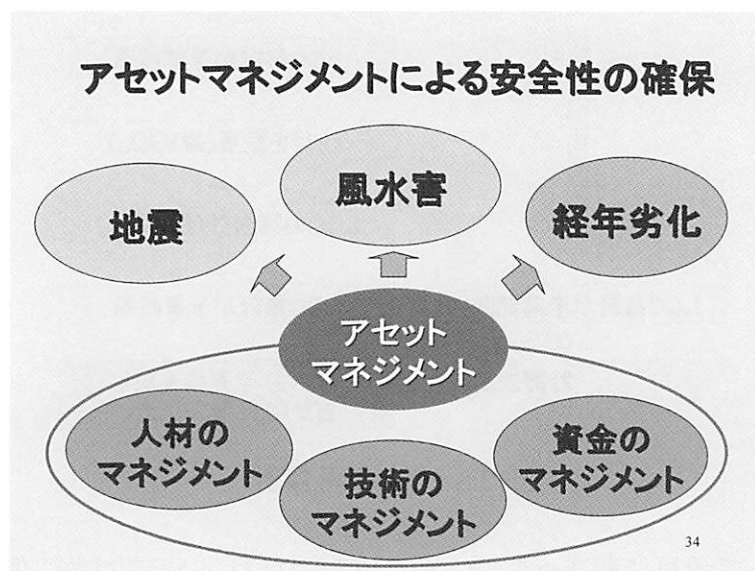


図-3.9 アセットマネジメントによる安全性の確保

アセットマネジメントを取り入れ、どういう管理体系でやっていくかという、大きくは日常管理、計画管理、それから異常時管理という三つに分けられます。

このような管理体系で、人材のマネジメント、技術のマネジメント、それから資金を確保してくるということで資金のマネジメントを統括したものがアセットマネジメントで、アセットマネジメントを実施することによって、地震とか風水害、あるいは経年劣化などにきちんとした対応ができると考えております。

地震、風水害、あるいは経年劣化に対して、とかく技術的な解答だけが求められるのですが、日本国内にある橋梁などを取り上げてみますと、全国に 67 万橋あると言われていて、実に国民 200 人に一つぐらいの割合で橋梁がある訳です。ということは、200 人が一つの橋梁を支えていかないといけないという、とても大変なことになるわけですが、そのような観点から考えますと、この図の上にあるような外力に対する問題解決よりも、むしろ、人的な要素といいますか、人間がやれるアセットマネジメントの部分が必要とされているのではないかと考えております。

3.2 ブリッジマネジメントシステム

ライフサイクルコストがどのぐらいかかるのか、あるいは施設全体でどのぐらいの予算が必要になるのか、という質問になかなか答えられないというジレンマから脱却するために、ブリッジマネジメントシステムの構築に取り組んできました。昨年、青森県の橋梁に適用することでコンソーシアムを組織して BMS の開発に取り組んでおりまして、つい最近、一とおりの答えを出せるようになりました。近々、多分 11 月ごろには青森県からその結果報告がされると思いますが、どのようにしてブリッジマネジメントシステムを構築したか、ということこれからご説明いたします。

道路構造物の今後の管理・更新等の在り方に関する検討委員会の提言が平成 15 年 4 月に出されました。その第 1 項目に「総合マネジメントシステム」という見出しで「個々の技術者がこれまで蓄積してきた知識や経験を結集し、それに加えて、高度な専門知識を持つ技術者の科学的知見と最新の技術開発の成果を適所に取り入れることにより、精度の高いマネジメントシステムが構築できる」と書かれております。私どもは、この提言を具体的に実現しようということを目指して BMS を開発して参りました。

まず、対策カテゴリーの分類です。維持管理をしていくためにいろいろな対策をしないといけないのですが、まず一つは、先ほどもお話のありました耐震対策です。これは、経年劣化とは全く無縁ではありませんが、別個に予算・計画されているということで、耐震対策として独立した予算の中でやっていきます。

それから、緊急対策。すべての現象が予見できるわけではありませんし、いろいろな事故があつたりするという中で、第三者災害を引き起こすおそれのあるものや、安全性を損なうおそれがあるものに対しては緊急対策を行います。

この二つを除きますと、こまごまとした、例えば清掃をするとか、土砂詰まりとか、あるいは車がちょっとぶつかって高欄が曲がってしまった、などということに対しての簡易な補修が必要です。このようなものを放置しておく急速に構造物が劣化することがありますので、すぐに対策していくのが維持対策です。

これらを除きまして、一般に補修とか補強、あるいはリハビリテーションと言われるもの、あるいは更新といった対策を、将来予測とライフサイクルコストの算定に基づいて最適な時期に実施するのが計画的な対策です。このようなものを総合的に実施して初めてきちんとした維持管理ができるわけです。

維持管理の体系としましては、大きく日常管理、計画管理、異常時管理に分けられます。

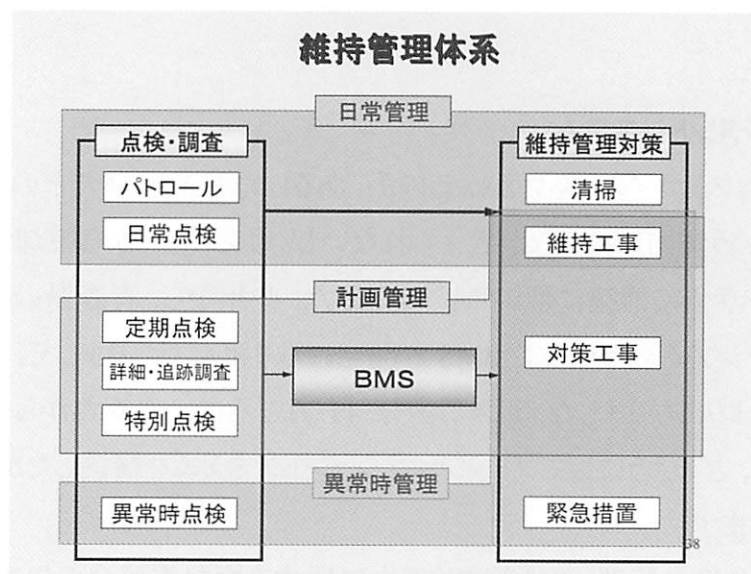


図-3.10 維持管理体系

左の列に書かれているのが点検・調査のたぐいで、パトロールや日常点検、定期点検、あるいは異常時点検というものがあります。右の列に書かれているのが維持管理対策で、この中には清掃、維持工事、対策工事、緊急措置というようなものがあります。

日常管理の中では、パトロールや日常点検に基づいて、清掃や維持工事を、行っていきます。異常時管理においては、異常時点検に基づいて緊急措置、あるいは必要に応じて対策工事を行います。計画管理においては、定期点検等に基づいて対策工事や維持工事を行うわけですが、そこでブリッジマネジメントシステムによって、どの構造物のどの部位を、どういう順番でやればいいか、ということを求めるという形になっております。

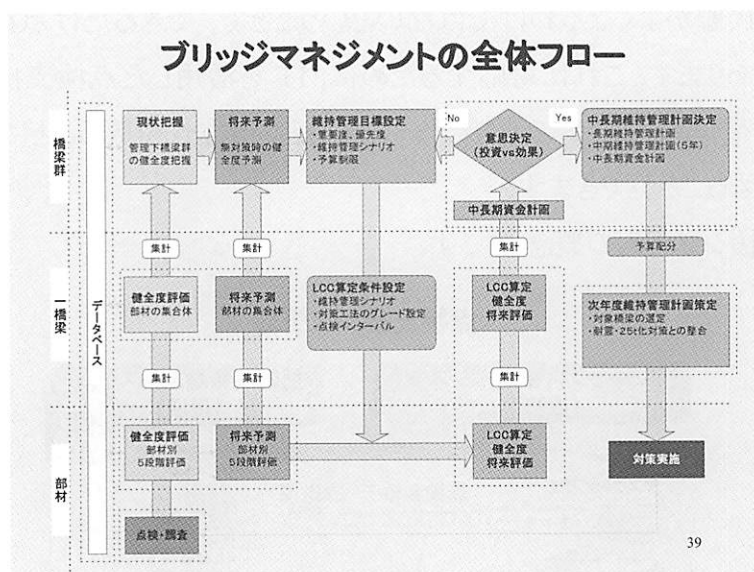


図-3.11 ブリッジマネジメントシステムの全体フロー

私どもの開発しておりますブリッジマネジメントシステムの全体フローです。

概念だけご理解いただければと思います。フローチャートの左下の点検・調査から始まって、健全度評価、将来予測、それから LCC 算定とつながっていくわけです。

今度は下から上に見ていただきますと、部材レベル、橋梁レベル、それから橋梁群のレベルという層分けになっております。

左から右に見ていただきますと、健全度評価をして将来予測をするという部分ですが、例えばコンクリートの床版と鉄桁の塗装というのは全く同じように劣化するわけではないので、やはり部材レベルでしか将来予測はできない、と考えております。したがって、全体のブリッジマネジメントシステムとしては、ベースは部材・要素で、それぞれの要素に対する将来予測、ライフサイクルコストを算定し、あとは橋梁単位あるいは橋梁群としては、それを集計していくという構成になっております。将来予測に基づいてライフサイクルコストを算定するところでは、先ほどご説明しましたように、維持管理水準を設定します。維持管理水準を設定して初めてライフサイクルコストが算定できますので、ライフサイクルコストを算定するための条件設定をしないとイケない、ということで、維持管理シナリオという概念が出てきます。この条件設定をするためには、全体としての目標設定から、維持管理の基本方針に基づいてそれぞれの維持管理シナリオを決めていく。このような流れになっております。

まず、点検・調査ですが、点検結果に基づいてすべての意思決定がなされますので、非常に重要性は高い、ということは誰しも認めるところです。同時に、精度を高くやっていきたい、ということで、必要な情報をできるだけ数多く収集したいのですが、一方で、点検を幾ら

やっても橋梁の状態がよくなるわけではないということで、できるだけ点検コストを縮減したい、という要望があります。これに対応するために、IT を活用した点検支援システムを開発しておりまして、携帯情報端末への直接データ入力という方式を取ることで、点検の高度化と効率化を図ることができます。

これが点検支援システムの概念図です。

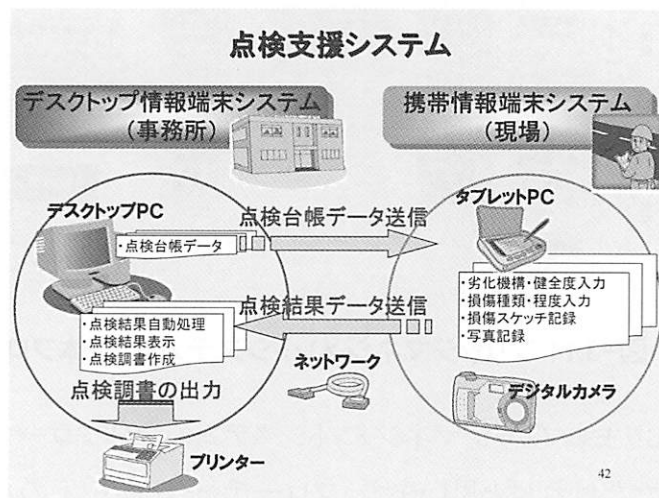


図-3.12 点検支援システムの概念図

デスクトップパソコンが事務所に置かれておりまして、この橋梁台帳からデータをタブレット PC のほうに移します。タブレット PC を使って、劣化に関するいろいろな必要な情報を現場に行き取ってくる。同時に、デジタルカメラで状況写真を撮ってくる。これを事務所に戻ってデスクトップパソコンのほうに戻しますと、点検結果の自動処理をして点検調書を出力します。この点検調書の出力作業を自動化することによって、かなり大幅なコストダウンをねらっております。



図-3.13 点検支援システムの画面

これは点検支援システムの画面です。

タブレット PC は通常のノートパソコン程度の大きさで、現地にこれを持ってペンタッチで入力します。

画面上に、部材リスト、要素リストが表示され、設定されたいろいろな項目に対してデータを入れていくことになっております。もう一つは、CAD 化された図面を中に取り込んでおくことによって、今までは紙にスケッチして事務所に戻ってもう一度書き直していたような損傷スケッチも、現地で書くことができます。

この点検結果に基づいて健全度評価を行います。点検の結果を基にして将来予測をし、それから対策工法の選定をするわけですが、このようなプロセスには共通の物差しが必要です。そこで、アセットマネジメントが将来予測に基づいて計画管理をやっていくという本質から考えまして、劣化過程をベースにしたものが望ましいだろう、と考えて健全度評価基準を作っております。

諸外国を見ても、あるいは国内のものを見ても、5 段階ぐらいの健全度評価が適切ではないかと考えました。5 段階のうち、いちばん上はいちばんいい段階で 5 点、いちばん悪くなった、これはもうぎりぎりですよというのが 1 点ということ。あとは、劣化が始まったばかりのものと、中間のものと、かなりひどくなったものということで、5 段階の健全度評価基準を作っております。

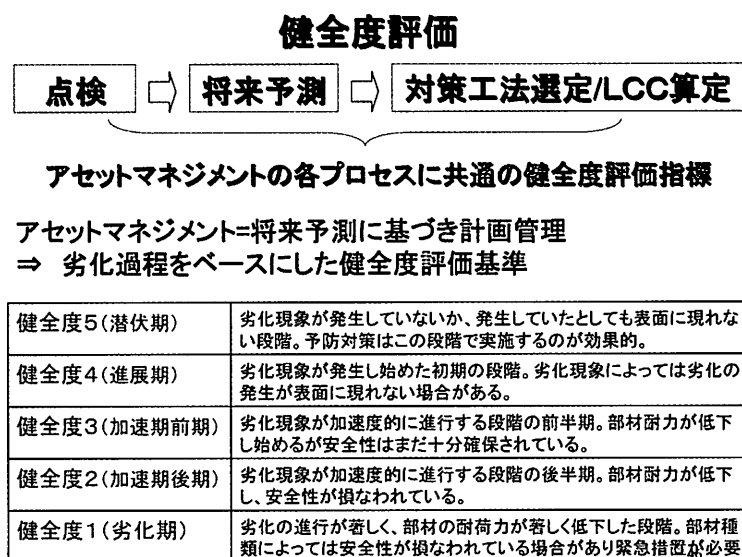


図-3.14 健全度評価

ここに書かれているような内容ですべての部材に共通のコンセプトを与えるものとして 5 段階の基準を作成しております。健全度 5(潜伏期)は、劣化現象が発生していない、あるいは発生したとしても表面に現れないような段階。健全度 4(進展期)は、劣化現象が発生し始め

た初期の段階. それから, 劣化現象が加速度的に進行する段階(加速期)が二つ, 健全度 3(前期)と健全度 2(後期)に分かれています. 潜伏期や進展期においては日常的な管理や予防保全, 加速期の前期では早期の対策といえますが, リペアといったもの. それから, かなり大掛かりな補修工事, リハビリテーションと呼ばれるもの, が 2 の段階(加速期後期). そして最後の段階(劣化期)では交換するといったイメージです.

これは中性化の場合の事例で, それぞれの健全度段階の基準が書かれています.

健全度評価

各劣化過程の定義および標準的な対策工法(中性化)

評価段階	劣化過程	定 義	状 態	対策工法
5	潜伏期	中性化深さが鋼材の腐食発生限界に到達するまでの期間	外観上の変状が見られない(中性化残りが発錆限界以上)	(表面処理)
4	進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間	外観上の変状が見られない、(中性化残りが発錆限界未満、腐食が開始)	表面処理、(再アルカリ化)
3	加速期(前期)	腐食ひび割れ発生により鋼材の腐食速度が増大する期間	腐食ひび割れが見られ、局部的にうきがある	表面処理、(電気防食)、(再アルカリ化)
2	加速期(後期)		腐食ひび割れが多数発生し、遊離石灰や錆汁が見られる。局部的なはく離・はく落が見られる。腐食量が多い。	表面処理、断面修復
1	劣化期	鋼材の腐食量の増加により耐荷力の低下が顕著な期間	ひび割れ幅が大きく、錆汁が顕著である。はく離・はく落が多く見られる。	鋼板・FRP接合、外ケーブル、巻き立て、増厚

48

図-3.15 中性化の劣化過程の定義と対策工法

コンクリートについては土木学会コンクリート標準示方書維持管理編に定義が示されておりますが, 状態の欄は点検者が現地で見た状態を細かく規定し直して, 点検者が判断しやすいものに作り替えておりますが, それぞれの段階でどのような対策工法をあてがえばいいか, この一連の評価の基準を橋梁のすべての材料について作りました.

それを基に, 今度は劣化予測を行うわけです. 劣化予測は, 理論的な劣化予測式もありますが, ごく一部のものに限られています. しかも複合劣化に対しては, 理論的あるいは定量的な説明はほとんどされていません. 理想としてはフィールドデータに基づく劣化予測式を構築できればいいわけですが, 実際には, 日本の場合, 全国の 67 万橋の橋梁といったスケールで見た場合には, フィールドデータはほとんど整備されていないのが現状です.

そこで, 点検が一巡して点検データが蓄積されるまで待っているのか, ということですが, 待てる状況ではないということと, いくら点検データが蓄積されても劣化予測に役に立つような点検データでなければ意味がないということで, 劣化予測システムを次のような考え方に基づいて作りました.

理論的に解明されたメカニズムとエキスパートの知見を基にして、劣化機構別に劣化予測の推定式を作り、点検結果を蓄積することによってその精度を向上させていこうといった考え方です。

縦軸に 5 段階の 1～5 までの健全度、横軸に年数を取りますと、それぞれの段階は潜伏期、進展期といった名前で、このような階段状のものができるわけですが、どうしても階段状のものだと劣化予測をするのに不都合ですので、階段状のものを連続的なものにしようという非常に単純な発想です。このような五つの直線からなる劣化予測式を標準としております。

具体的にどうやって作るかというと、それぞれ期間の長さを年数で規定し、それぞれ直線で仮定します。

劣化予測式

- 5つの劣化進行過程の長さを年数で規定
- 各期間の劣化進行速度は時間に比例すると仮定
- 環境条件や個体条件を考慮して、複数の劣化速度を設定

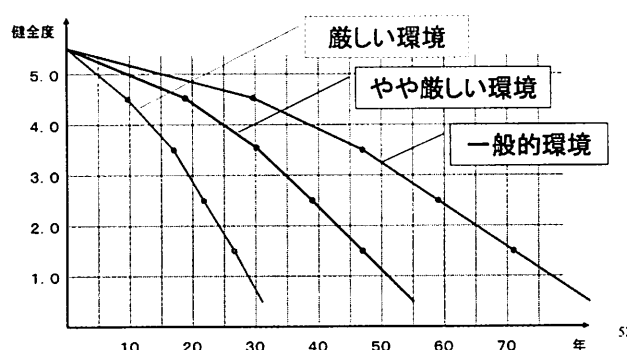


図-3.16 劣化予測式

環境条件や個体条件によって劣化速度は変わってくることからグルーピングをして、それぞれのグループごとに劣化予測式を設定します。私どもの BMS では 4 段階の劣化速度を設定しております。基準としましては、一般的な環境、やや厳しい環境、かなり厳しい環境という風にグループを作り、健全な状態から取り替えなければならないような状態になるまでに何年ぐらいかかっているのかということ、過去の事例やいろいろな研究から調べました。また、それぞれの健全度段階でどのような対応が必要かということも経験上分かっておりますので、いろいろなデータを基に積み上げていきます。そういうことで、橋梁を構成する数多くの種類の部材について、エキスパートの方々の知識を基にして作らせていただきました。

どんなに多くのデータを収集して劣化予測式を作っても、あるいは特定の部材・部位の経過観察をしても、場所が違えば、あるいはものが違えば、劣化予測は当たらないと思われま

す.したがって,それぞれの点検結果に合わせて劣化予測式を自動修正することで,そのばらつきを修正しようと考えました.

劣化予測式

点検結果を反映した劣化予測の自動修正

どんなに数多くのデータを収集して劣化予測式を導き出したとしても部材の個体条件や環境条件や個体条件によって劣化速度は異なる

⇒ 点検結果にあわせて劣化予測式を自動修正

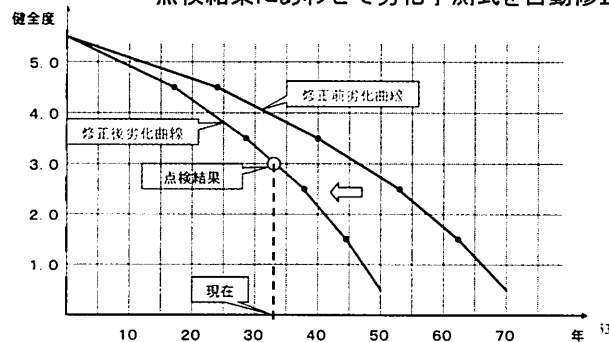


図-3.17 劣化予測式の修正

グループの劣化予測式がこの黒い線で,現在が 33 年だとして,この劣化式予測式からすると健全度は 4 ぐらいのはずだ,ということで,現地で実物を見て健全度 3 ぐらいになっているということが分かりましたら,これをスライドして現在の点検結果を通る劣化曲線に変える作業をコンピューターの中で行っていきます.これによって,例えば一つの橋梁で 1000 個の部材があったとすると,1000 個がそれぞれ現状に合った劣化予測式になるので,現在をスタートとすると,もともと想定した劣化予測式がある程度の誤差を含むものであっても,近い将来の劣化予測はかなり現実に近いものになるだろうと考えております.

LCC算定

- ① 劣化曲線の指定(劣化機構と劣化速度)
- ② 対策時期と工法の指定(対策工法マトリックス)
- ③ 対策後劣化曲線の指定(劣化機構と劣化速度)

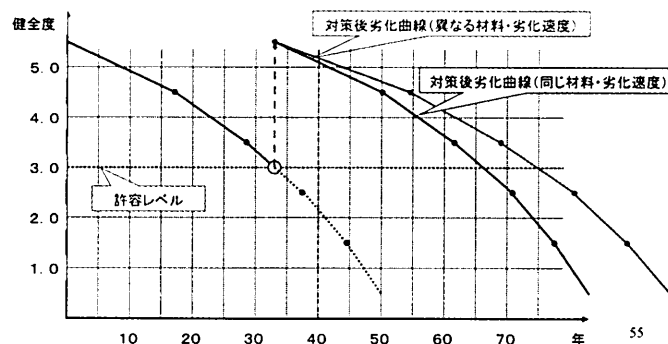


図-3.18 LCC の算定

ここまで劣化予測の準備ができますと、いよいよライフサイクルコストを算定します。ライフサイクルコストを算定するためには、劣化曲線の指定をしないといけません。

これは、劣化の機構が何であるか、例えばそのコンクリート部材が塩害なのか、あるいは中性化なのか、あるいはアルカリ骨材反応なのかという劣化機構を指定して、それがどの劣化速度のグループに入るのかということを決めます。そして、対策時期と工法の指定をする。それから、管理水準を決めて、その管理水準で何をするかということを決めます。さらに対策後にどこまで健全度が回復し、対策後の劣化曲線はどのような形を取るか。例えばこれが現在の修正された劣化曲線だとしますと、将来的にこういったスピードで健全度が落ちていきます。管理水準を 3 に設定しましたら、健全度 3 で所定の対策をします。健全度が回復したら、そのあとどのような劣化をたどるかということをシミュレーションして、管理水準に達する度にコストを算定すれば、ライフサイクルコストが得られるわけです。

補修・補強工事については、足場費用なども含めてコストの積み上げ算定をします。それから、部分更新をするようなもの。例えば、もともと RC の床版なのだけれども PC 床版に変えないといけないといったものに対しては、一度に更新をすることを前提にして計算します。このようにできるだけ現実の維持管理行為にマッチした形でライフサイクルコストを算定するような工夫をしております。

3.3 青森県のブリッジマネジメントシステム構築例

ここで、青森県でのブリッジマネジメントシステムの構築事例をご説明いたします。マネジメントの全体フローは五つのステップからなっております。第 1 番めは、基本戦略と目標を設定する部分です。2 番めのステップは、個別橋梁のマネジメント。個別橋梁に着目したミクロマネジメントと言われる部分です。この段階で、それぞれの橋梁の維持管理方針を決定し、幾つかの選択肢を選びます。

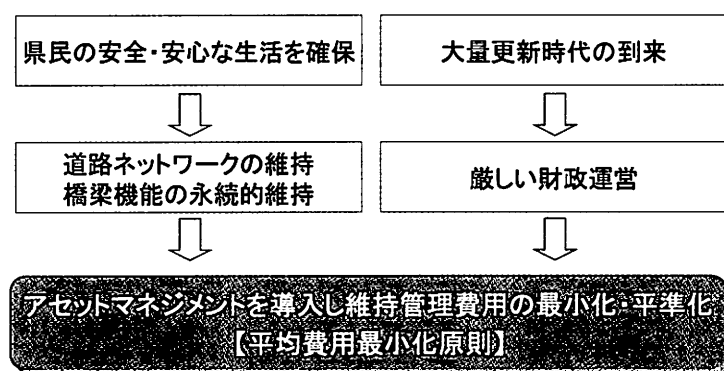
ステップ 3 はマクロマネジメントで、個別橋梁の話ではなくて、全体予算ということになります。ここでは中長期予算を最小化して、さらに平準化をします。ステップ 3 のところでは、考え方や判断ルールを整理すれば、ほぼ自動的に答えが出てくるという形になります。

そこで中長期予算が出ますと、今度はもう一度個別橋梁に戻って中期事業計画を立てます。この中で、ステップ 3 で最終的に決定された維持管理シナリオに従って、それぞれの年度にどの橋梁のどの部分に対して対策を取るのかということを決めます。

2 から 4 までのステップを回していくのが一つの中期のマネジメントで、毎年、あるいは 5 年ごと、あるいは 10 年ごとに事後評価をやっていくことになります。

基本戦略, ステップ 1 のところでは, 基本方針として, 県民の安全・安心の生活を確保するためには, 道路ネットワークを維持することが極めて重要なことであると同時に, そのために橋梁機能は永続的に維持します, という方針を立てております. 一方で, 例えば橋梁の寿命が 60 年とか 70 年と仮設しますと, ほとんどの自治体で, 日本全国どこでもそうですが, ある一時期に集中的に造られているので, そのうち大量更新時代が来ることになる.

【基本方針】



60

図-3.19 ブリッジマネジメントシステムの基本方針

しかしながら, 現在厳しい財政運営を強いられていて, 今後長期的に見た場合に, さらに財政状況が厳しくなってきます. したがって, 早い段階でアセットマネジメントを導入して, 今後発生する維持管理費用を最小化・平準化しよう, それを平均費用最小化原則にのっとってやろうという基本方針を立てております.

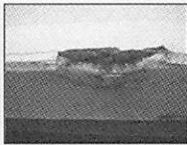
具体的な戦略としましては二つ. 長寿命化によって維持更新コストを削減しましょう, ということと, 老朽橋梁に関しては計画的に変えていきましょう, という二つの戦略を立てまして, それぞれ長期目標としては橋梁の健全度, あるいは予算などの目標を立てるということにしております.

基本的な方針が決まりましたら, 個別橋梁のマネジメントに移ります. 維持管理・点検につきましては, 先ほど説明した点検支援システムを使い, それぞれの部材に対して設定された健全度評価基準にのっとりて点検をしていきます. 点検ハンドブックを作っておりまして, 言葉で書いてあるこのような状態が, 写真ではこういう状態だとか, 点検者に分かりやすい事例写真を加えたものになっています. この点検結果から分る橋梁健全度と, 橋梁それぞれの

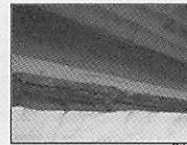
健全度評価基準(例:鉄筋コンクリートの塩害)		
健全度	定 義	状 態
5:潜伏期	鋼材のかぶり位置における塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に達するまでの期間	外観上の変状が見られない、腐食発生限界塩化物イオン濃度以下
4:進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間	外観上の変状が見られない、腐食発生限界塩化物イオン濃度以上、腐食が開始
3:加速期前期	腐食ひび割れ発生により腐食速度が増大する期間	腐食ひび割れが発生、錆汁が見られる
2:加速期後期		腐食ひび割れが多数発生、錆汁が見られる、部分的なはく離・はく落が見られる、腐食量の増大
1:劣化期	腐食量の増加により耐荷力の低下が顕著な期間	腐食ひび割れが多数発生、ひび割れ幅が大きい、錆汁が見られる、はく離・はく落が見られる、変位・たわみが大きい



3: 加速期前期



2: 加速期後期



1: 劣化期

図-3.20 健全度評価基準

重要度と、それから環境条件など、そういったものを総合して維持管理シナリオを決めていくという作業を行います。

維持管理シナリオは個別橋梁の維持管理方針をパターン化したもので、大きく 4 種類設定しております。一つは予防対策型のシナリオで、維持管理レベルを高く設定して予防的な対策によって将来的に大規模な補修・改修工事をしないというシナリオです。

2 番めは早期対策型で、劣化現象が発見されたらできるだけ早く、ひどくならないうちに補修・改修工事を行いましょう、というものです。

事後対策型のシナリオは現在行われているもので、劣化が発見されたけれどもあまりひどくないからしばらくほうっておこう、この橋梁は今すぐ落ちるわけではないだろうということで、ある程度の劣化を許容しよう、そして、所定の劣化段階に至ったら補修工事をやりましよう、というものです。

更新型のシナリオは、これよりもさらに悪くなる、あるいはかかった病気すなわち劣化現象が補修では直らない、交換するほうが今後 50 年、100 年を考えると安いだろう、といったものに対しては、高価な補修工事の繰り返しをやるのではなくて、所定の時期に更新しましよう、ということです。歯医者さんに例えますと、予防保全型というのは毎日歯を磨きましようということです。早期対策型のシナリオというのは、定期点検をして悪いところが見付かったらすぐに治療をしましよう。事後対策型は、大きく穴を開けて神経を取って治療し、最終的には歯を抜いてしまようということになるのですが、できるだけ早めの手当てをするほうが安上がりだろうということは自明であります。

ただ、残念ながら、予防保全型は現在ほとんど行われていないのが現状なのです。

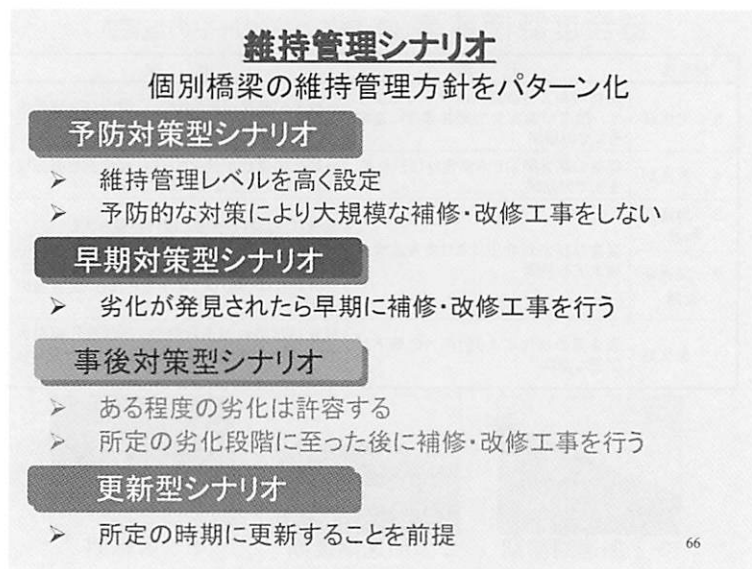


図-3.21 維持管理シナリオ

それはさておき、この 4 種類に対して、それぞれ A, B, C, D と名前をつけまして、更新も、床版から上をやるもの、上部工から上をやるもの、それから下部工も加えて更新をするものと 3 種類に分けております。それぞれ先ほど説明したような形で、コンセプトとしての許容レベルをどの程度にするかということをおらかじめ設定しております。

その管理のイメージは、予防対策型では非常に高いレベルで何らかの処置をしていく。事後対策型ではかなり悪くなるまでほうっておくという形になります。

次に、具体的にシナリオを選びます。最初の例は、特殊な橋梁だということで、予防保全型に限定してしまう、あるいは更新シナリオは削除しましょう、ということです。例としては、青森県には城ヶ倉大橋という耐候性鋼材を使ったロングスパンのアーチ橋がありまして、これについては予防保全型にします。また、400m 近い長大橋の津軽大橋については、これを更新するということになると何年か分の予算をそのときにこの工事だけで取ってしまうということで、最低でも更新はしないようにします。このように、それぞれの橋梁に対して、先ほど示した九つのシナリオの中から限定をしていくという作業を行います。この部分が道路管理者にとっていちばん重要なところです。

次に、橋梁健全度によるシナリオ一次選定では、例えば塩害で塩化物イオン濃度が非常に高くなったコンクリート橋のような、致命的な劣化原因でしかも重症のものについては、いろいろな調査をしたうえで、更新型に特定します。これは実は鋼橋なのですが、こんなにさびた状態になっていますので、さすがに荷重制限はしてあるということですが、こういったものは補修のしようがないので架け替えます。

それから、重要度評価。重要度評価のポイントとしましては、ファクターとしては緊急輸送路、バス路線、交通量など、いろいろあるのですが、これからどうやってシナリオを限定するかということです。将来的に交通制限を伴うような工事が発生すると、社会的な影響が大きくなります。交通量の少ないものについては大掛かりな工事もできるのですが、市内の交通量の多いところはできるだけそういうことはしたくない、といった考え方に基づいて重要度評価点によってシナリオの絞り込みをやります。これは一つの事例ですが、この部分は各道路管理者がそれぞれの状況、あるいは置かれた環境、あるいは考え方に基づいて設定をしていき、シナリオの一次選定をいたします。

ここで一次選定をした選択肢は、次のステップで平準化のためにどれが選ばれても、それはそれで納得をする、といったような考え方です。シナリオの一次選定がされると、それぞれの選定されたシナリオに対して健全度の将来予測をしたうえで、LCC 算定をいたします。

LCC 算定をするために、先ほどの対策マトリクスを作ります。

LCC算定(シナリオ別対策工法マトリクス)

➤ エキスパートの知見により部材材料・仕様、劣化機構毎に最適対策工法を設定

		A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
5:潜伏期 (5.5-4.5)	対策工	対策しない	対策しない	対策しない	対策しない	対策しない	対策しない
	回復レベル						
4:進展期 (4.5-3.5)	対策工	c-1塗装 2種ケレン	c-1塗装 2種ケレン	対策しない	対策しない	対策しない	対策しない
	回復レベル	5.2	5.2				
3:加速前期 (3.5-2.5)	対策工			c-1塗装 2種ケレン (エッジ処理)	a-1塗装 3種Aケレン (エッジ処理)	対策しない	対策しない
	回復レベル			5.2	5.2		
2:加速期後 (2.5-1.5)	対策工					a-1塗装 2種ケレン 当て板補強(5%)	対策しない
	回復レベル					5.2	
1:劣化期 (1.5-0.5)	対策工						a-1塗装 2種ケレン 当て板補強(10%)
	回復レベル						5.2

図-3.22 シナリオ別対策工法マトリクス

いろいろな専門家の意見を聞きながら、部材の材料・仕様、劣化機構ごとに最適な対策工法を設定しているものです。縦の列の A-1, A-2, B-1 は、シナリオの種類です。横が健全度評価段階です。このように、従来の維持管理はほとんどがかなり悪い状態で行っていたのですが、それ一辺倒だと、健全なものがどんどん劣化するのをただ指をくわえて待っているようなことになりますので、いろいろな選択肢を設けているというのが特徴です。

例えば予防対策型のシナリオだと、管理水準に対して現状の健全度が低い場合には、すぐに健全度を回復するための工事費が必要だということになり、初期の段階で費用が必要

で、ライフサイクルコストを算定するとこのような形になります。早期対策型だとこのような形になります。

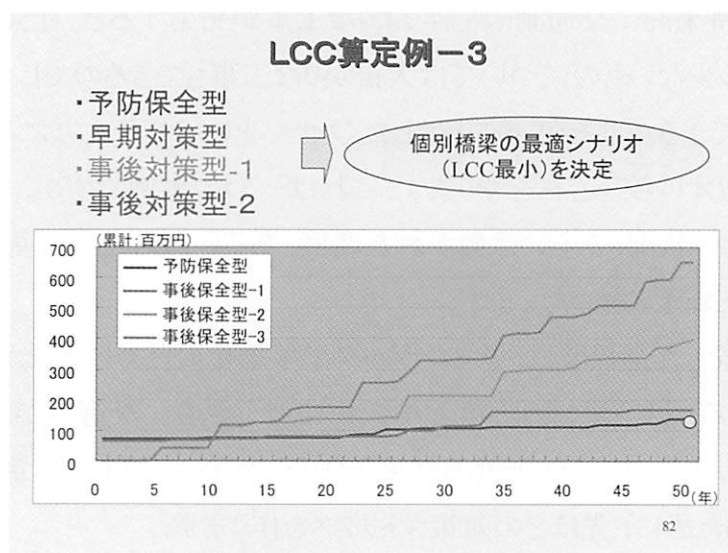


図-3.23 LCC 算定例

事後対策だと、現在は管理水準よりも高いので何も対策をしないのですが、健全度がかなり低くなった状態で対策をするので、けっこうお金のかかる工事がたくさん将来に控えているということになります。そこで、ライフサイクルコストをそれぞれのシナリオ別に算定し、それを比較します。

一次選定でこの四つ(予防対策型, 早期対策型, 事後対策型-1, 事後対策型-2)が選ばれていたとすると、その中でどれがいちばんいいのか。通常は LCC が最小となるもの、この場合だと予防保全型を選ぶことになります。優先順位としては 1, 2, 3, 4 という順番になります。

ここまでの個別橋梁に着目したマネジメントで、次に全体のことを考えるのがステップ 3 で、中長期の予算を決定するというプロセスです。

まずは一次シナリオ選定の中から最適のものを一つ選んだあと、全橋梁分の LCC を集計をします。そのあと、中長期予算の最小化・平準化をやります。

ここで、平均費用最小化原則をご説明します。毎年発生する維持管理費用は社会資本を維持していくための費用で、その年に社会資本の恩恵を受けた者が負担します。さらにその費用を平準化して、できるだけ次世代に付けを回すようなことがないように、世代間で公平に負担しよう、そのためには、平均的な費用で予算組みをするのが妥当だろうということです。したがって、中長期予算計画の対象となるライフサイクル、例えば青森県では 50 年と見っていますが、すべての橋梁の 50 年間の LCC 集計値を年数で割ると平均年度予算が出て

きます。まずはこの年度予算からスタートして、これでやりくりできるかということを考えるわけです。

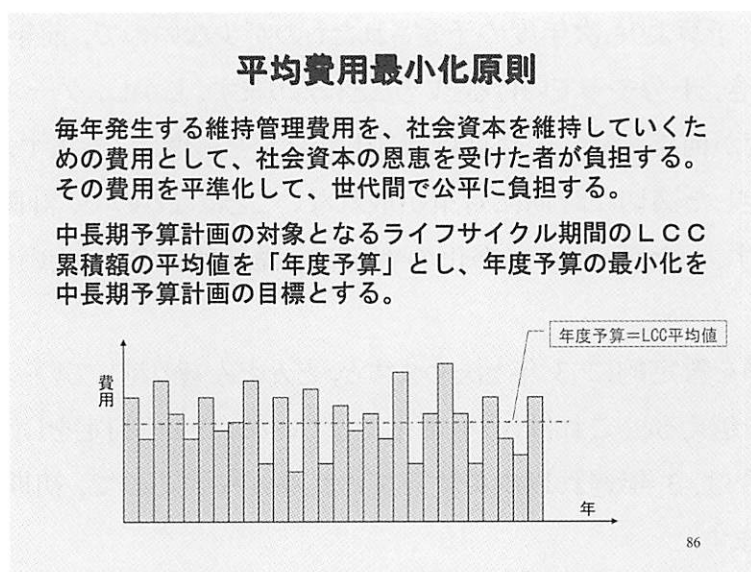


図-3.24 平均費用最小化原則

そこで平準化ができているかどうかという判定をしないといけません。平準化というとほとんど等しい状態のことを言う訳ですが、平準化をばらつきで評価していいのか、という疑問がここで出てきます。

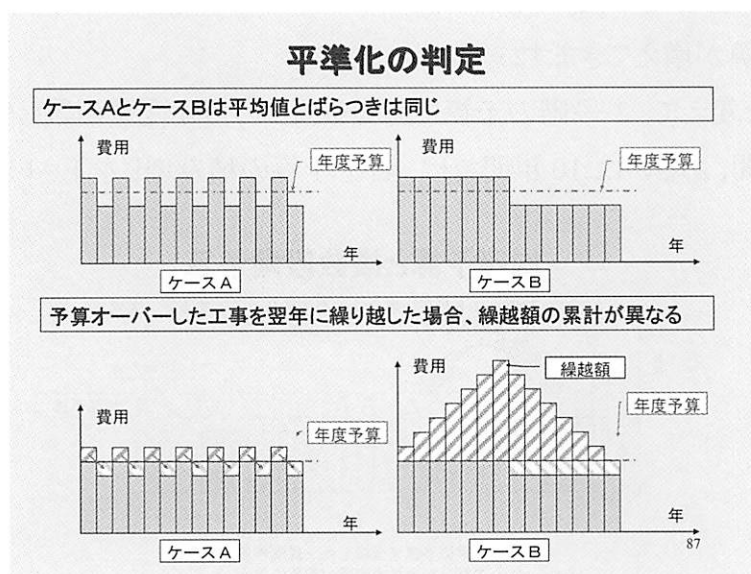


図-3.25 平準化の判定

このケース A とケース B を比較しますと、平均値とばらつきは全く一緒ですが、ケース A では出っ張っているものと引っ込んでいるものが交互に繰り返されています。こちらでは前

期(早い段階)に集中しています。両方ともばらつき度合いは一緒です。実際にこの赤線を予算として決めますと、予算をオーバーした対策は次の年に繰り越しになります。

ケース A では、予算よりも次年度の予定されたものが少ないので、前年から繰越されたものがそこで吸収でき、十分やっていけるということになります。しかし、ケース B のように予算オーバーした年度が何年も続くと、今度は繰越しがどんどん増えてきます。繰越額が増えてくると、結局は予定した適切な時期に対策が取れないことになるので、計画倒れに終わってしまうということです。したがって、平準化の判定は、繰越額でやろうということにしております。

この許容繰越額を暫定的に 3 年と決めますと、どんどん繰り越していったときに、繰越額が 3 年分の予算を越えたと、これはもう平準化できていないという判定をし、繰越額が 3 年分の予算以下の場合は、3 年遅れ以内ですべての工事がやれるので、初期のシナリオどおりにやれると判断します。

そこで、均等予算の場合ですと、先ほどのように初期に出っ張っているものに関しましては、シナリオを変更して後ろに回るようにしないといけないということになります。しかし、先ほどグラフで説明しましたように、LCC 最小のシナリオを選んだあとシナリオを変更すると、この LCC が高くなります。一つのシナリオを変えると LCC が高くなるのでシナリオを変える度に均等予算がどんどん増えてくることになります。したがってシナリオ変更だけで予算を平準化しようすると、予算が増えてきます。

一方、考え方を变えて、2 段階の予算で考えると、シナリオ変更の数も少なくなります。例えば初期の 5 年間、あるいは 10 年間では、若干予算の積み増しを下さい、そうすると、その

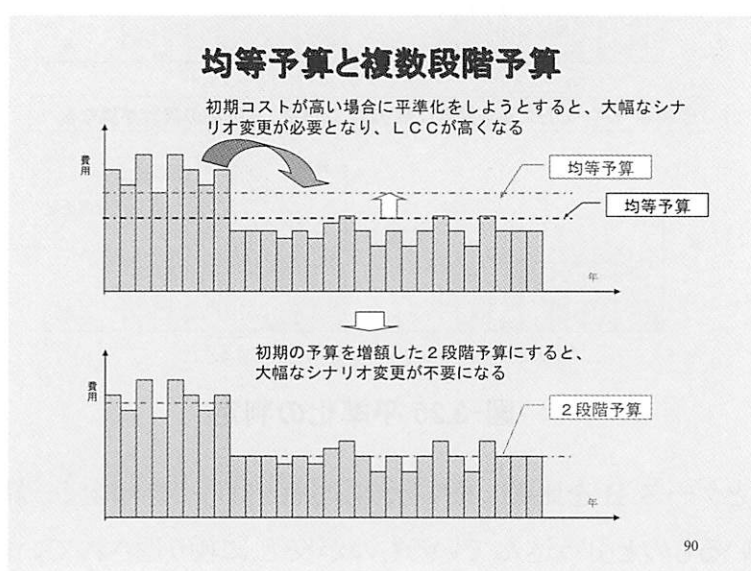


図-3.26 均等予算と複数段階予算

あとの予算は少なくともすみずみです。50年の期間で考えると、均等予算を上げるよりも全体予算としては少なくなります。こういった形でマネジメントをしていくということが、必要だと思っています。

現在、青森県では予算計画もできまして、これから県庁内の折衝をやるという段階になっておりますが、2段階あるいは3段階というものを駆使しながら、できるだけ少ない予算ですべての橋梁を維持管理しようということで予算を組み立てています。

最後に、中期事業計画ですが、再びマクロからミクロに戻って個別橋梁の話に戻ります。

ステップ4では事業実施順位づけでLCC算定の早いものから順に並べるという作業を行います。ステップ3までは要素レベルの積み上げでしたが、実際の対策は部材単位、あるいは要素単位で工事をするわけではなくて、同じ橋梁の同じ部材は一度にやってしまうのが通常です。この段階で初めて工事名として「橋梁」「対象部材」「対策工法」といったものが出てきます。これを早く対策しなければならない順に並べていきます。例えば同じ橋梁で違う部位でも、足場が共有できるようなものについては、繰り上げて一緒に工事をするといった操作をしながら中期事業計画を組み立てていきます。

早い順に並べていって、実施年度を予算で割り振っていくと、中期の工事リストができ上がります。ここまでがブリッジマネジメントシステムで出てくるアウトプットです。

まとめです。ステップ1で基本戦略を立て、全体の方針を立てます。ステップ2では、個別橋梁に着目して適用可能なシナリオを選びます。ステップ3では、橋梁群のマネジメントで、今度は全体の予算を組むために、ステップ2で選んだシナリオの最終選定をし直して、ステップ2で選ばれたシナリオの範囲で予算の最小化かつ平準化を求めます。これを行いますと、この段階ですべての橋梁に対してどのような維持管理をやるかというシナリオが決定



図-3.27 ブリッジマネジメントの全体フロー

されるわけです。ここで決定した内容を具体的に中期事業計画に当てはめていくという作業がステップ 4 で、ステップ 5 は事後評価とフィードバックをします。

したがって、今までのように、「個別橋梁の最適シナリオを選んでそれを集計すると予算がオーバーしました。予算がオーバーしたので事業優先度評価をしました。優先したものから順にやります。優先度から漏れたものは、それは知りません」ということではなくて、このシステムでは、「すべての橋梁に対してそれぞれ許容範囲のシナリオを適用すると全体の予算がこうなります」という説明ですから、多分財務当局に対してもきちんとした説明ができます。「予算をカットすると、将来的にこういう予算が必要になります。」あるいは、「どの橋梁に対しては安全性が確保できますが、どの橋梁に対しては安全性が確保できません。」あるいは、「将来的にこれだけの予算が必要になります」というようなことが言えるようになります。

道路管理者、橋梁管理者として財務当局にこのような説明をしたあとで、最終的に県民の皆さんがたあるいは知事さんの判断に委ねることになりますが、管理を任された者としてはこれだけの説明はする必要があるのではないかと考えます。今までの方法では、ここまでの説明はとてもできなかったのですが、コンピューターを駆使し、データを蓄積することによって初めてこういうことができるようになりました。

先ほどもご説明しましたように、青森県ではこの中期事業計画が先週あたりやっとまとまった段階です。この中長期の予算と中期事業計画を県庁内で認めていただいて、それなりの予算が獲得できれば、今後のブリッジマネジメントについても非常にいい実例ができるのではないかと、今非常に期待しているところです。以上です。

ちょっと時間オーバーしましたが、終わらせていただきます。

4. 歴史から見た我国の構造物の安全性に対する考え方

藤森 照信 (東京大学生産技術研究所 教授)

略歴

藤森 照信 (ふじもり てるのぶ)

1971 年 東北大学工学部建築学科卒

1978 年 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻博士課程修了

1985 年 東京大学生産技術研究所 助教授

1996 年 東京大学国際・産学共同センター 教授

1998 年 東京大学生産技術研究所教授

現在に至る

主な著書

研究関係

『日本の建築[明治大正昭和]第3巻 国家のデザイン』三省堂, 1979 年

『明治の東京計画』岩波書店, 1982 年

『アール・ヌーヴォーの館 旧松本健次郎邸』三省堂, 1986 年

『看板建築(都市のジャーナリズム)』三省堂, 1988 年

『日本近代思想大系 19 都市・建築』岩波書店, 1990 年

『日本の近代建築(上)(下)』岩波書店, 1993 年

『全調査 東アジア近代都市と建築』筑摩書房, 1996 年

『丹下健三』新建築社, 2002 年

『日本のステンドグラス』朝日新聞社, 2003 年

『人類と建築の歴史』ちくまプリマー新書, 筑摩書房, 2005 年

建築探偵関係

『建築探偵の冒険 東京篇』筑摩書房, 1986 年

『建築探偵奇想天外』朝日新聞社, 1990 年

『昭和住宅物語 初期モダニズムからポストモダンまで』新建築社, 1990 年

『建築探偵日記 東京物語』王国社, 1993 年

『伊東忠太動物園』筑摩書房, 1995 年

『建築探偵の謎』王国社, 1997 年

『完本・建築探偵日記』王国社, 1999 年

『天下無双の建築学入門』筑摩書房, 2001 年

『歴史遺産日本の洋館 全6巻』講談社, 2002-2003 年

『原・現代住宅再見』TOTO出版, 2002 年-2003 年

『藤森照信の美術館三昧』TOTO出版, 2004 年

建築活動関係

『家をつくることは快樂である』王国社, 1998 年

『藤森照信野蛮ギャルド建築』TOTO出版, 1998 年

『タンポポ・ハウスのできるまで』朝日新聞社, 1999 年

『藤森照信建築作品集』中華文化復興運動総会, 2003 年

『藤森流自然素材の使い方』彰国社, 2005 年

その他

『タンポポの綿毛』朝日新聞社, 2000 年

『建築探偵, 本を伐る』晶文社, 2001 年

主な建築作品

《神長官守矢史料館》(長野県茅野市, 1991 年)

《タンポポ・ハウス》(東京都国分寺市, 1995 年)

《ニラ・ハウス》(東京都町田市, 1997 年)

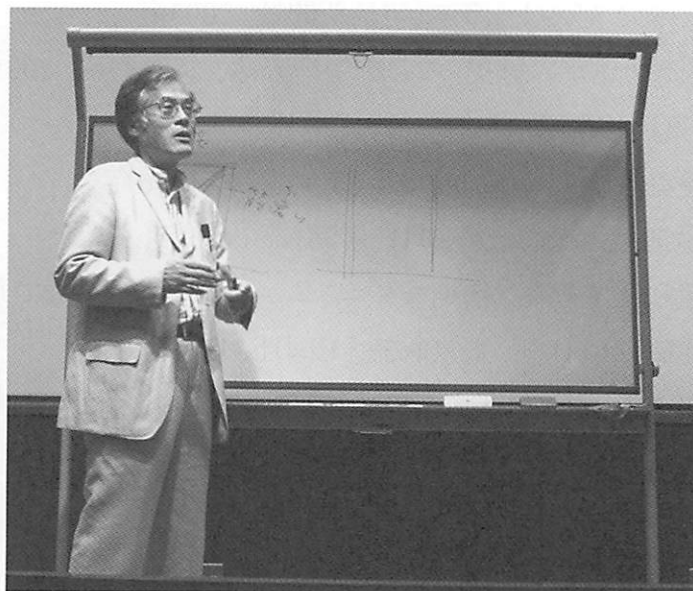
《秋野不矩美術館》(静岡市天竜市, 1997 年)

《熊本県立農業大学校学生寮》(熊本県菊池郡, 2000 年)

《不東庵工房》(神奈川県湯河原町, 2001 年)

《矩庵》(京都市下京区, 2003 年)

《高過庵》(長野県茅野市, 2004 年)



藤森です。土木・建築の歴史という分野がありまして、特に建築の歴史が中心ですが、今日は、日本で現代まで含めて耐震構造がどういう考えのもとに実施されてきたかというお話をしたいと思います。あまり聞いたことのない話もあると思いますし、よく知っている話もあると思いますが、1時間弱お話ししたいと思います。

災害ということで行きますと、地震、火事、洪水は日本の場合大変多かったのですが、明治の政府、あるいは明治以前の江戸幕府、あるいは戦国時代の大名たちが圧倒的に力を注いだのは洪水で、これはもうものすごい力を注いでまいりました。それに比べれば、地震や火事というのはほとんど放置されてきたといっていると思います。少なくとも幕府とか、昔の政府レベルで本格的にそういうものに取り組んだ痕跡は、どこにもありません。ほとんどの防災は洪水対策であったといっていると思います。

もちろんこれは明治以降も変わりませんで、内務省(建設省の前身)の中で筆頭の部局は河川局であったわけです。これは水を治めるものが国を治めるという、中国に発する考え方ですが、恐らく日本の場合、実質的には戦国大名あたりがそういう考え方を本気を取ったのだと思います。それがずっと今日まで基本的には続くわけです。そういう中で、火事のことは述べませんが、地震対策が全くされなかったわけではありません。なぜかという、当たり前ですが、自分たちの造った橋が壊れたり建築が壊れたりしては困るわけで、それなりにされてきたわけです。まずその辺の話をしたいと思います。

地震の水平力に対して構造物をどのように耐えさせるかという、二つの方法があったわけです。一つは、柱がありますと、ここに水平材、多くの場合、はりがかかっていますが、これを倒れないようにする。掘っ立て柱にしても、ほとんど効果がないことが分かっております。このくらいしか動きませんので、この上で耐えなければいけない。まず、いちばん簡単なのは、こ

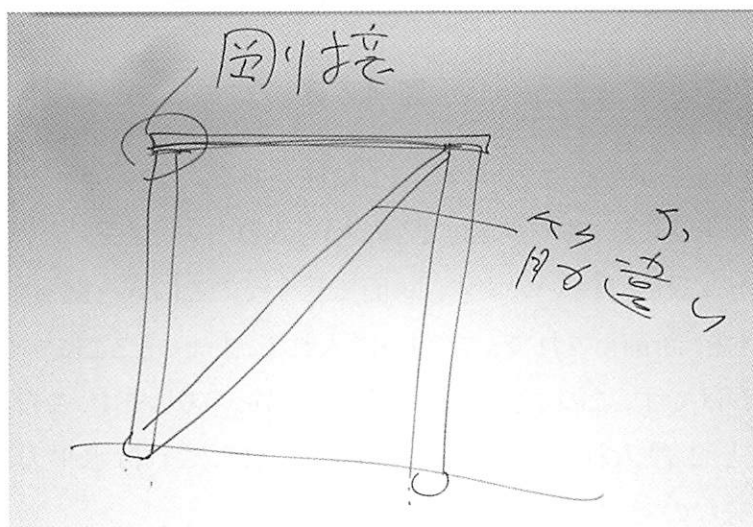


図-4.1 剛接と筋違い

こをいわゆる剛接, リジッドにすることです. これで相当大丈夫です. もう一つは, ここに斜材, いわゆる筋違い(すじかい)を入れることです. ここにパネルを入れるということがありますが, 実際にパネルを入れるということは, 日本では戦後までほとんど行われていません. 日本の場合, レンガ造や石造がないので, 構築物は全部, 土木も含めて基本的に木で造られるわけですが, ここを剛接にするか, 筋違いにするかということです.

では, 水平力に耐えるために, いつからこういう努力がされたか. これがちょっとなぞで, 非常に議論があつて, 私自身も何とも言い難いのですが, 少なくとも弥生時代には相当, 高床式の高い建物が建っていただろうということが分かっております. 三内丸山は縄文時代ですが, 一応 10m ぐらいの栗の柱は立てていたのではないかと. あるいは弥生時代, 古墳時代になりますと相当発掘されてきます. それは高床であつただろうというのは, 柱の跡しか出てこないのです. 床の跡が出てこないで, 柱でけっこう高いものを造っていただろうと.

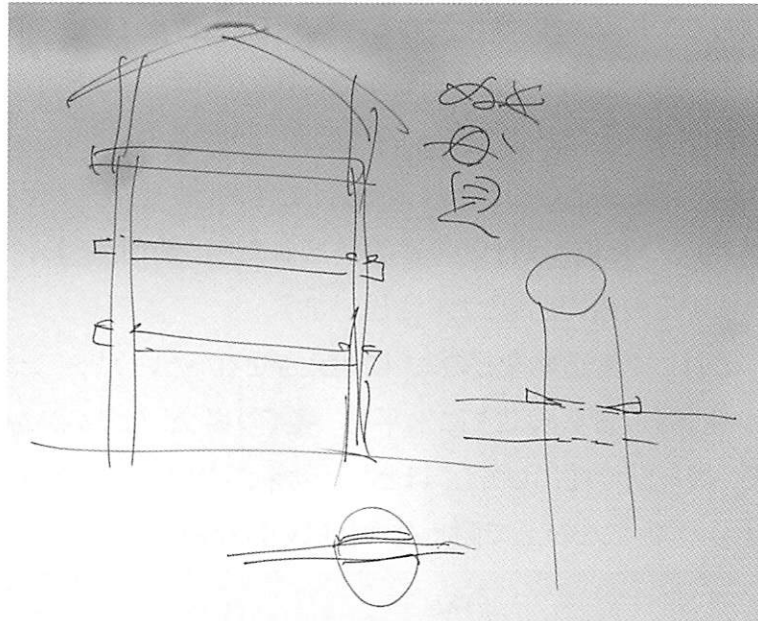


図-4.2 貫

例えば, 物見のやぐらがあつたとします. ここに柱がある. これがどうやって水平力に対して耐えていたか. 今考えられているのは, 貫(ぬき)を入れていただろうということです. ここにくさびで留めますが, これを貫といいます. 断面で言うと, ここに穴を掘って, ここに材を入れます. 横から見ると, 断面はこれで, このように入れて, ちょっとここにすきを作って, ここにくさびを打ち込むわけです. このくさびを締めることでがっちりします. この貫を入れていた. 実際, 三内丸山だと 2 段入れています, 貫を入れれば, これは水平力に耐えます. 地震でも台風でも大丈夫なのです.

ところがこれが、入れていたという説と入れていなかったという説があるのです。なぜかという、まだ貫と貫穴の本物が出てきていないのです。ただ、日本の縄文住居、縄文時代、弥生時代の木造の恐らく原形になったか、あるいはそれと同時代に同じようなことをやっていたということが分かっている中国南部の遺跡のものは、相当きれいな貫が出てきているので、日本の場合も恐らく貫があっただろうという説と、やはりなかっただろうという二つの説が争っております。ないから、こんなでかいものは建たなかったのではないかと。もっと低いもの。何せ高床ですから、上の大きさが分からないのです。

これは、技術的には縄文時代でもうできるのです。石器の性能は実験で分かっていますが、意外と石器はほとんど鉄と同じようなことができます。ただ、スピードが遅くて鉄の4倍です。穴を掘ることもできますし、板を作ることもできるので、縄文時代からすでに貫があっただということを私の知り合いなどは考えていて、必ずそのうち発掘されると言っている人もいます。いや、そんなことはない、貫はなかったと言う人もいます。それは今のところはっきりしない。はっきりするのは、やはり実物が出てくるのは法隆寺なのです。

ご存じのように、法隆寺は世界最古の木造で、結局、法隆寺以前の世界の木造、あるいは中国や韓国の木造が、具体的にどうやって水平力に耐えていたか分からないのです。貫があっただことはもっと前の発掘で分かっているのですが、仏教が伝わってきたお寺は相当膨大なものを造っていたのですが、それがどうやっていたかは分からない。結局、法隆寺から推測するしかないのですが、法隆寺の水平力への対抗というのは、やはり貫でやっております。

ただ、その貫がちょっと変わっていきまして、かりにここに柱が並んでいます。普通、貫というのは下のほうへ作るのですが、頭貫(かしらぬき)といって頭に通すのです。頭を、ここを切っ

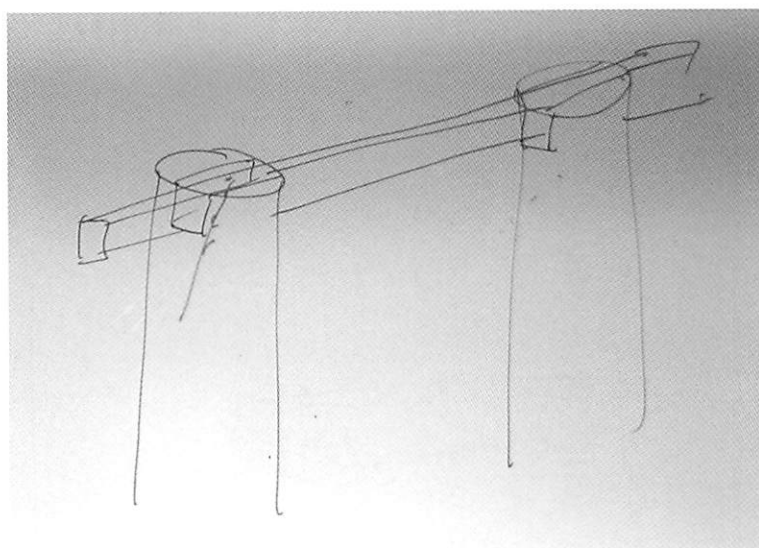


図-4.3 頭貫

て、ここに太い材をドーンと入れるのです。ここにこういう四角の大材をガーッと入れるわけです。これをずつつないでいくわけです。もちろんこの上に、組み物という、積み木のような飾りが乗るので、これだけだとすっぽり抜けるので、ここをくぎで打ちます。このくぎはこんなものです。太さはこんなにありますから、それを打てば割れてしまうので、ちゃんと細いのみで、四角のものです。穴を掘ってから挿していたようです。ですから、くぎ留めをしているわけです。これは相当効くわけです。なぜかという、法隆寺は一度も倒壊はしていませんので、恐らく奈良は何度か地震に遭っているはずですが、少なくともこれで貫は効いております。ですから、法隆寺で見ますと、少なくとも貫が構造材として効いていたということが分かります。

もう一つ、実はこれはブレースが入っております。これはもうちょっと小さな建物のほうですが、ここにこういう斜めのブレースを入れています。これは上から壁を塗っているのですが、ですから、法隆寺は、要するに斜材、英語で言うとトラス(truss)の考えですが、筋違いと貫の両方をやっていたということが分かるわけです。ただ、貫は、古い資料で、中国の発掘で石器時代に出ていることが分かっているのですが、斜材がいつ、どこで、どういう事情で発生したかは分からない。ただ、法隆寺の段階ですでに成立しているということが分かるわけです。つまり、現在、木造構造物で知られている二つの主要な耐震、水平力への対抗というのは、法隆寺の段階ですでに出ていたわけです。

ところが、このあと奇妙なことが起こるわけです。法隆寺ですでにできていた貫は、どんどん発達します。横から断面でかきますと、最初は頭貫しかなかったわけですが、途中で胴貫がつくようになります。どんどん発達してきたわけです。胴貫はくぎなしでやれますが、さらにこの場所に、上には長押(なげし)というものがつきます。長押は、中に抜かずに、ここだけ切って、あるいはこうやります。ここでくぎで強く打つわけです。これをくぎ隠しと。ちょっと古いタイプの家だといっていますが、今は飾りですが、もともと構造材として水平力に耐えるた

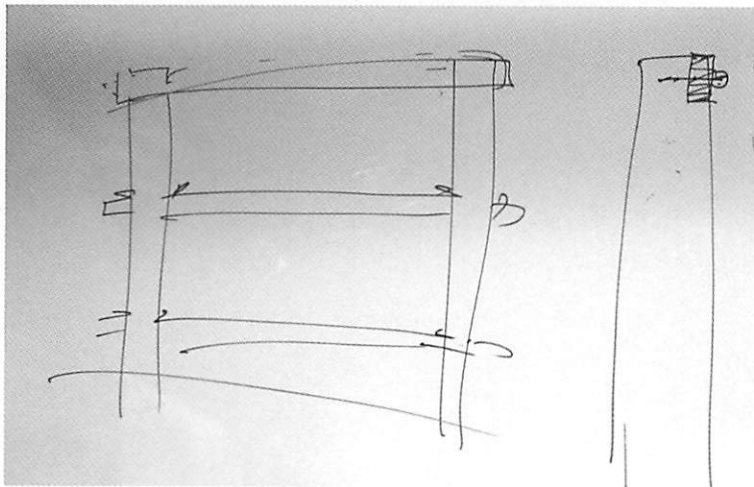


図-4.4 法隆寺の貫の構造

めに作られたわけです。長押はこのようにくぎ隠しで、胴貫はこうやっていたわけです。だから、どんどん貫は発達していくわけです。日本の構造材は、貫によって持っていくわけです。

ところが、先ほどの法隆寺にあった筋違いが、法隆寺以降消えてしまうのです。法隆寺一作だけあって、あとは消えてしまうのです。全然現れない。これはやはり、よく分からないのです。では、建造物全体から消えたかという、そうではないのです。土木の世界では、むしろ筋違いが中心になっていきます。例えば橋があると、ここに欄干がついていますが、これが板だとすると、ここにまず貫が入ります。下にも貫が入ります。それでここに筋違いが入るわけです。例えば、いちばん古い木造の橋である錦帯橋は、ここに貫が入っております。もちろん江戸の橋にも貫が入っておりました。これは断面というか、こっち方面ですから、ここを人が通るわけです。

あるいは、火の見というのがあります。江戸時代に火の見はすごく発達して、高いものは何十メートルもあったのです。火の見は木で造っていますが、ここに貫が入って、ここにブレースが入ります。土木ではブレースをずっと愛用するわけです。貫とブレース。つまり、木造としてはいちばんいい構造をやるのですが、建築ではブレースが消えてしまうのです。これはなぜかというのが分からないのですが、恐らく美学的なことではないかという気がします。日本の美学の中で、水平と垂直という美学ができてきます。それだとも嫌だったのではないかと思います。ただ、壁の中に隠せばいいだろうということになるのですが、壁に隠したものは必ず壁に斜めのひびが入るのです。結局、推測になりますが、特に日本が数寄屋造りや桂離宮のような非常に繊細な美学を成立させるに従って、やはりこういうものを嫌がっていったのではないかと思います。

それと、もう一つなぞがあるわけです。例えば、錦帯橋を造っていたのは特別な地元の大工です。錦帯橋は雨が来たら流れるように造ってありますので、今のものも戦後流れたあと

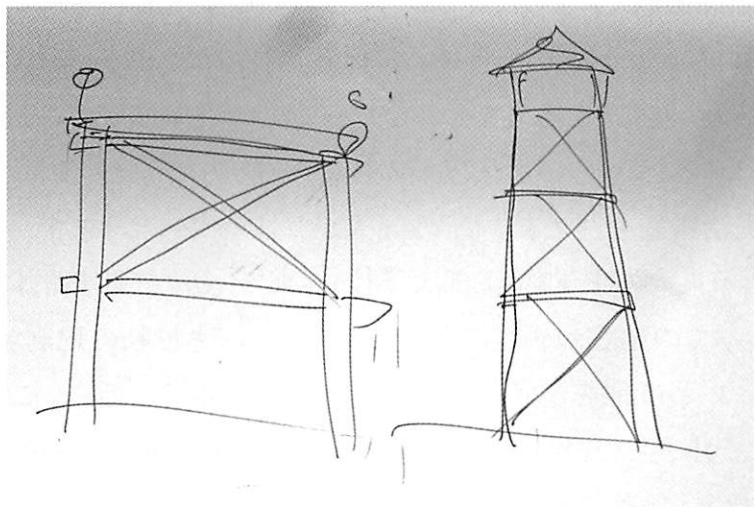


図-4.5 橋と火のみの構造

のものです。日本の木造の橋は、橋台、橋柱の部分は割とがっちりさせたりしますが、基本的には流れることは覚悟しておいて、錦帯橋は橋脚の部分は石でしっかり造ってありますが、上は流れるようにしております。ですから、雨が来て流されたら大工さんが造るわけです。その家があるのです。もちろん藩に指定された家です。その家が今でもやっていますが、その家の人に聞いたのです。橋が流れるというのはそんなしょっちゅうないわけです。何十年に一ぺん。その間は何をしていたかという、ごく普通の大工さんなのです。日ごろは普通に建築を造っているのです。それで、橋をやるときだけブレースを入れて、建築には入れないのです。これは何なのだろうと思うのですが。

もう一つ似たようなことがありまして、江戸の中期ごろに、中国からアーチ橋が入ります。長崎は中国起源というのはほとんど間違いないのです。オランダからのものではないです。あれは熊本や鹿児島にずっと広がるわけです。けれども、お城や建造物のほうではやはり造らないのです。あの辺も分からないのです。

ですから、基本的には、どうも物を造る人たちが、我々とちょっと違ってあまり理論的に考えない。あるいは非常に経験的だということと、やはり何か秘伝みたいなものがあつたようなのです。技術というものは、今我々が、ここでいろいろな討議をして、どれがいいとか、そのやり方はおかしいのではないとか、そういう発想がなかったみたいです。やはり親なり藩なりに伝わってきたもの。そういう点では、非学術的という点ではあれですが、ヨーロッパでも実はルネサンス以前はそうだったのですが、そういうちょっと今とは違う、特に優れた技術についてはある種神秘化していた可能性があります。

ですから、これが優れていたとしても、そういうものを知っていても、あれは橋の技術なのだ、あれは火の見の技術であって、建築というようなもうちょっと美的なものには使わないのだというようなことがあつたのではないかと思います。当時はたくさん本が出ていたのですが、いちばん肝心なことは秘伝で、書いていなかったりします。ただ、意外と人間というのは一生懸命ではないのではないのかという、要するに伝統に縛られるといってもいいのですが、何か問題が起きたとき新しいことを考えてそれをやっていく人もいますけれども、それはやはり少数で、昔ながらにやるというのが近代以前の技術の在り方だったのではないかと思います。

こういう状態で明治維新を迎えまして、外国人が日本へやってきます。イギリスの地震学者ミルンが、いわゆる東大の工学部(工部大学校)へ来て、初めて本格的に地震に取り組みます。ミルンは、日本での地震の研究によってヨーロッパでも最初の地震学者として大変名を成すわけですが、いわば地震学者として、明治 16 年に非常に面白いことを言っています。地震に耐えるにはどうしたらいいか。レンガ造がいちばんいい。彼がちゃんと言っているのは、これは経験から来たと。学者ですから、本当は理論上ということを書いたかったのでしょうか。

れども、これは理論からではなく、自分の経験から、レンガ造が一番で、二番が石か鉄で、木造は全然だめだという言い方をするわけです。

これがけっこう面白いのですが、レンガ造や石造が火に強いことは分かるのですが、なぜ地震に強かったかというのは分からないのです。ただ、このミルンの発言は大変大きくて、当時の建築学科は辰野金吾さんという東京駅を造ったかたが中心になっていたわけですが、辰野さんたちも、基本的にレンガ造は火と地震に強いと思うわけです。これはミルンが言ったせいだけではなくて、何か彼らもそう思ったのだと思います。それで、せっせとレンガ造を造っていったわけです。

ところが、明治 24 年に有名な濃尾地震が起きて何が分かったかというと、辰野さんたちが名古屋と岐阜にせっせと造ったレンガ造が、壊滅的状态になったわけです。それで、ミルンの言ったことは間違いだということで、初めてここでみんな目が覚めまして、これは地震の対策をちゃんと自分たちで考えなくてはいけないと、地震の対策というのは世界じゅうどこにもなかったわけです。これで初めて日本の地震学、耐震構造が自立してくるわけです。

ただ、どうしていいか分からなくて、最初にとにかくやろうということでやったのが、レンガ造や石造の中に鉄で補強をすることです。辰野さんは日銀の工事中で、慌てて補強するので、あるいは現在の霞が関に建っている司法省も補強をします。日銀は壊さないと見られないのですが、今の法務省の建物と、その横にある最高裁の建物、特に最高裁の建物を壊すときに見に行ったのです。補強といっても、レンガ造は、2 枚半といいますから、こんなにあります。その中にこれくらいの帯筋がずっと走って、柱の位置でこのくらいの鉄筋のようなものでつないでいるのです。だから、今から考えるとこんなものではとてもだめだろうというような形でしかなかったわけです。それは当然のように分からないわけです。このくらいに細い鉄を入れていて、これではだめではないかと思う人もいれば、これでいいと思う人もいるのだけれども、それを確かめようがないわけです。

なぜ確かめようがないかというと、非常に簡単です。地震の揺れはミルンの研究で相当分かりました。とにかく、日本政府はミルンに言われて、東京じゅうと全国の主なところに地震計を置いて地震の波形を測ります。それで、最初に短い縦揺れが来て次に横揺れが来るとか、最大どれくらいあるとか、そういうことが全部分かってきます。

けれども、ミルンは地震学者です。地盤から建築に上台を通して伝わり、柱を通して伝わって上の床を揺すり、さらに次の床を揺すりという感じで建築の中をずっと伝わっていくときに、いわば応力がかかってくるわけですが、そのシステムというより、具体的に力がどう伝わるかというのが大変難しいことで、むしろ戦前の段階でははっきりしていなかったのです。例えば 1 階のはりではどのくらいの引っ張り力があるとか、そういう具体的な地震の力学が分

からないのです。結局、力学が分からないから対応のしかたがないわけです。ここのはりの中にどのくらいの補強をすればいいかというのが分からなかったわけです。

辰野さんもそのことで地震に興味を持っていったのですが、分からない。なぜ分からないかというと、間違いなくこれは数学ができないと分からないのです。辰野さん自身は、もう自分は無理だということで困っていたわけですが、幸い、佐野利器という学生が現れたわけです。佐野さんは大変数学と物理のできるかたで、この佐野利器に、とにかく耐震構造をやれということと言って、佐野利器がそれを始めるわけです。それで佐野さんが、明治 30 年代になってから『家屋耐震構造論』を出します。分厚い本で、これでようやく日本の耐震構造が経験から学術のレベルに乗ってきました。

『家屋耐震構造論』は、地震の波の音から力がどのように伝わるかということまで克明に書いた本です。佐野さんというのは非常に面白い人で、建築学会には珍しく、美しい建築を造ることは女子供がやることだということと言って一部の建築家にひんしゅくを買ったのです。東大の教授だったのですが、自分は軍人のように国の役に立ちたいという人だったのです。それで、軍人のように国の役に立つにはやはり地震をやっつけるしかない。地震の被害をなくすしかない。

本当に佐野さんというのは面白い人で、ドイツへ留学したときの話があるのです。インドまで行って、イギリス人がインド人をものすごくいじめている植民地で、義憤に駆られて、そのまま降りて、もう自分はここでイギリス人たちと対抗する動きをやろうと本気で考えたのですが、やはりいけないと。それでまた船に戻って留学したというくらいの人です。とにかく短気な人で、法学部の先生とけんかをして、売り言葉に買い言葉で「うるせえ、それだったらおれは辞めてやる」と言ってそのまま東大を辞めて、そのあと清水建設の副社長をやります。そこでもまたけんかして辞めて、最後に日大へ行ったのですが、日大でもやはりけんかして辞めて、もうとにかくけんかして辞める人なのです。とにかく熱心なのと、ものすごく地震に強かったのも、何とか学者としてはまっとうしますけれども。

佐野さんが偉かったのは、そういう学術研究の成果はそのままでは建築に使えないということをつかっていたわけです。なぜかということ、ものすごく微妙なことをやるわけです。でも、それでは建築みたいに現場でどろどろコンクリートを塗ったり石を積んだりするようなどころでは使えない。簡単にしないと使えない。それで彼はどのようにしたか。ここに構造体があります。例えばここに構造物を含めて重さ K のものがあつたとしたら、地震のとき横からかかる重さは何 K かということなのです。要するに、 K だけはかからないだろうと。当たり前ですね。それで略算式のためにここの数値を求める。

彼はいろいろ調べた結果、これはミルンの地震測定から加速度を出すわけですが、山の手の台地だと 0.15、下町だと 0.3 と。測ったのは 3 か所くらいなのですが、それほど地震計は置けなかったのです。それで彼はもう決めてしまうのです。下町で 0.3 だったらもう 0.3 にしてしまえということで、地震における水平力は、この荷重の 0.3 倍かかると。つまり 100t の重さの建物があったら、横からは 30t かかる。そう思ってこれを計算すれば大丈夫だと決めてしまうわけです。決めるというより、建築構造学者は佐野利器一人しかいないわけですから、佐野さんがこう言ったからこう決まるわけです。これで現在まで来ております。現在まで来ていて大過ないから大丈夫。だから、よほどこれは大きく取ったか、やはり下町で取ったこの数値が正しかったと思うのですが、この略算式を出したわけです。

以降、建築構造物の耐震化のためには、横から荷重の 0.3 倍がかかると仮定します。ですから、ここのはりの断面を決めるには、上からは K 、横からは $0.3K$ がかかるとしたらここがどうなるかということで決めればよいという、非常に簡単な方式を出したわけです。これが基本になりまして、建築の耐震構造ができるわけです。

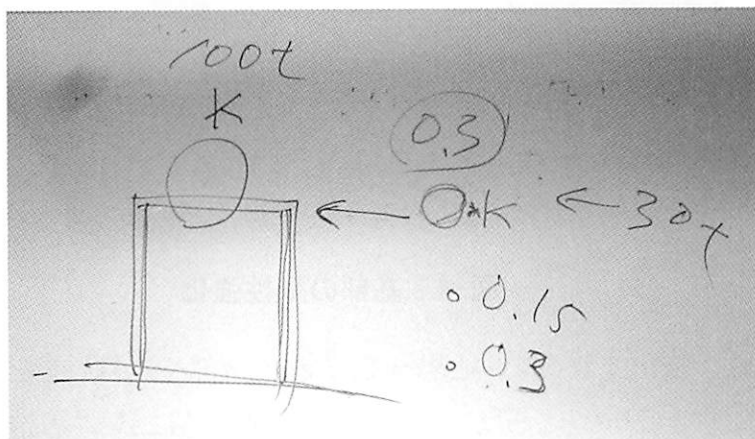


図-4.6 地震荷重の算定

佐野さんというのは非常に変わった人で、ここまで考えて興味を失うというか、あとはお弟子さんたちにやらせるのです。では具体的に、こういう考え方でどういう構造物を造ればよいかということまでは考えないわけです。これで計算しなさいと言って、関心は都市計画のほうへ行ってしまいます。それで都市計画のほうでワーワーまたやるのです。結局、お弟子さんたちが考えるわけです。

佐野さんによって学術的な基礎は分かった。要するに、0.3 横からかかると思ってやればよい。例えば、こういう構造体があったとします。これはラーメン柱で、これを地震に強くするにはどうすればいいか。ここを斜めに出して、これはやっていませんが、ちょっと前までけっこうこういうのがありましたでしょう。今の安田講堂を造った、東大の総長にもなった内田祥三が、

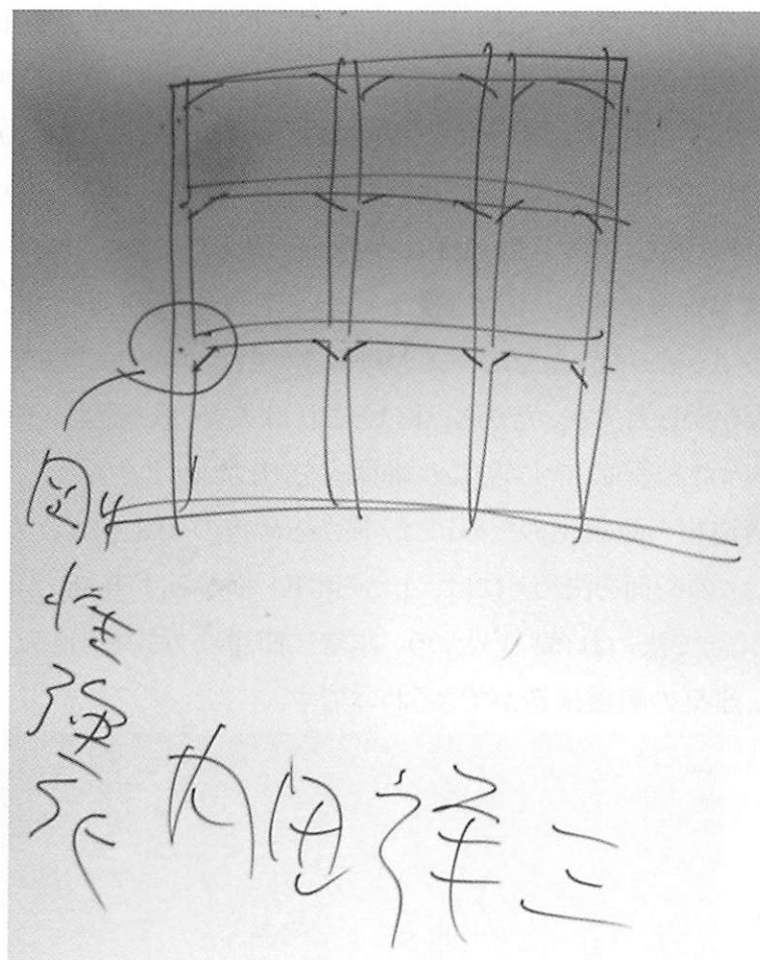


図-4.7 基部の剛性強化

これからはこの剛性を強化すればいいと思って、これで全部やればいいと思ったわけです。これからの建物は、柱とはりのところはリジッドにして、要するにがっちり造るようにすればいいと思ったわけです。大体鉄筋コンクリートの時代に入りましたから。

ところが、この内田さんに対してとんでもない反対が出たわけです。それは内藤多仲さんというかたです。内藤多仲さんは佐野利器の弟子で、内田先生より四つ下でしたけれども、早稲田へ行って戦後に東京タワーを設計されるかたです。内藤さんがとんでもないことを言うのです。こんな必要はないと。全体を強くする必要はなくて、どこかに耐震壁を造ればいい。どこかにポンと壁を1個入れれば、あとは普通のままでいいのだと。プランでいきますと耐震壁をどこに入れるかというのは難しいのですが、例えば、大体ここここに入れればいいという入れ方をします。こんな角を強くする必要はない。部分的にこうやって耐震壁を入れればいい。それで2人がこれを造ったわけです。それで関東大震災が来て、2人のものとも大丈夫だったのです。

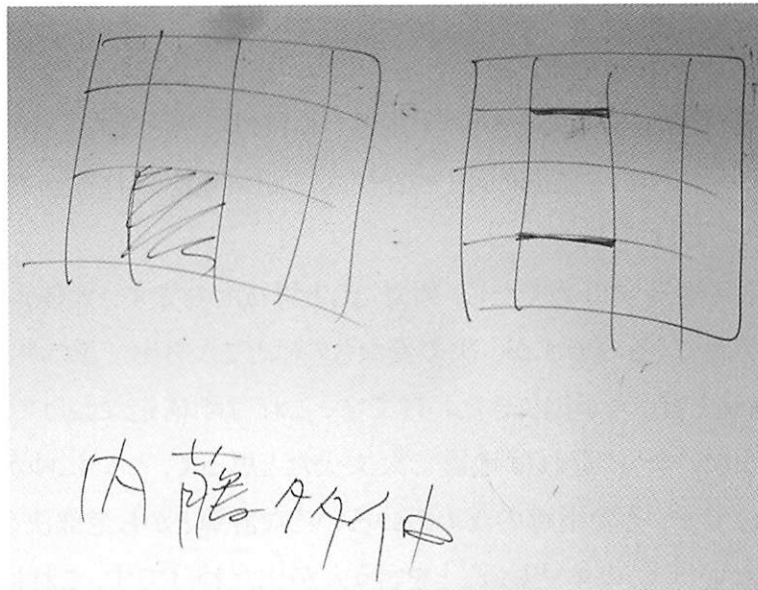


図-4.8 耐震壁の導入

内藤さんは、アメリカのサンフランシスコへ留学するのですが、アメリカの耐震構造が全然役に立たないというのが分かるわけです。日本のためには全然だめだと。非常に絶望的で、せっかく留学したのに何の成果もなく、サンフランシスコから帰ってくるときに、北回りのアリューシャン列島を通る船に乗ったわけです。アリューシャン列島はひどく揺れるということが分かっている、いろいろな壊れやすいお土産があったものだから、トランクの中に板を入れたのです。それで中に壊れ物を入れて、ぎりぎりここを縛ったわけです。

アリューシャン列島を通して帰ってきて、開けてみたら全く壊れていなかった。それで彼は、わずかな形でも中に板が入っていれば大丈夫だということに気づいて耐震壁を考えたと言われているのです。非常によくできた話で、本当かなと思うのだけれども、でも、これが残っていて、内藤家へ行ったら「これがそうです」と見せられました。相当でかいもので、革で全然剛性がないのです。だから、本当かもしれない。内藤さんは一応そのように言っているのです。ただ、構造学者は、面白がるというか、うそというか、伝説を自分でけっこう作ったりするのではっきりしないのですが、まあそうでしょう。

それで、もう困ったわけです。両方、早稲田のボスで、東大のボスなわけです。佐野利器は興味がないのです。おまえらどっちか決めろと言って。それで決めようがないのでどうやったかという、ある中規模のビルを仮定して、建設会社が具体的に全部設計をして、工費を全部出したのです。その工費の安かったほうにしようということに、委員会でなりました。それでやったら、圧倒的に内藤さんが安かったのです。

その席に出ていた人に、今から 20 年くらい前にインタビューをしたことがあるのです。そのときに内田さんは敗れたわけです。絶対自分のほうが安いのではないかと思っただけなのですが、バーンと学会で席を立て「かってにしろ。おれは二度と来ない」と。結局、内藤さんの理論で、建築は基本的に、こちらの剛性ではなくて耐震壁を入れるというほうでいっていますが、ここで決まったわけです。

これで日本の建築構造学はめでたし、めでたしと思ったのです。大体、みんながほっとするとまた変なものが出てくるのですが、次の変なものはどこから出てきたかという、土木から出たのです。柔構造と言う人が出てきたわけです。これは剛構造なわけです。要するに、建物をがっちりゆがまないように造れば地震で大丈夫だと思って、ついにゆがまないようにすることに成功したわけです。その指導のためのいろいろな計算とかも全部決めたら、そこに、建物はがっちり造らないほうが良いということと言う人が出たわけです。これは真島健三郎といいます。

真島さんも、恐らくあまり土木の人たちは知らないと思いますけれども、古市公威さんとか、そういう有名な土木の人たちがいっぱいいますけれども、ちょっと変わった経歴の人なのです。なぜかという、彼は海軍の土木技師だったのです。海軍の土木技術というのは、横須賀で幕末にフランス人が教えるのです。それがずっと続きまして、ある時期まで、横須賀の海軍は自分で技術者を養成するわけです。ドックを造るとか、海軍のいろいろな施設、あるいは通信塔を造るとか、そういう海軍の土木技師たちの養成。真島さんは、そこで養成されたかたです。たしか東大の教授にもなって、海軍の中将くらいになったかたです。海軍の技師としてはトップまで行った人です。

この真島さんが、学術的なことを言うだけだったらよかったです。建築学会の講演会へ来て、内藤さんとか佐野利器とか、そういう人たちに対して、剛構造はおかしいと言うわけです。それだけではなくて、すぐ新聞にやるわけです。それでまた新聞がものすごく受けるのです。

本当に真島さんというのはそういう点で面白いのですが、大衆の心をつかむのがうまかったのです。どうやって受けたかという、柳に風みたいなことを言うわけです。五重塔はなぜ倒れないかとか。五重塔はいっぱい倒れているのですが、倒れていない五重塔も確かにある。法隆寺が倒れていないとか。特に柳に風みたいなことは、日本の場合、構造物の話ではなくて人間の生き方の問題として言われているわけで、あまりがちがちせずに受け流すような生き方がいいのではないかというようなことがあるわけです。そういう人生論に絡めて、普通の新聞で市民に向かって書くわけです。建築界は今、がっちり造るというようなことを言っているけれども、ああいうことはおかしいのではないか、柳に風がいいのではないか、みたい

なことを書くわけです。そこで柔剛論争が起こるのですが、何とも建築界のほうが困ってしまうのです。圧倒的にそういう点、新聞記者は真島さんが面白いわけです。

例えば伊豆で地震があります。こういうところにいいかげんな、地上からほとんど出てないような、石を並べた上に土台を造った民家があるわけです。それが地震でちょっと横に動いて残っているわけです。そうすると、彼はこういう例を挙げて言うわけです。ほら、柔構造はいいだろう、ぐらぐらするというのがいいと。もう一つ彼は、土台は縛るなということを言うのです。当時建築界では、ちゃんとしたコンクリートを打って、土台をここと緊結しなさいと指導しているわけです。これはレンガや石で造ります。それで真島さんが、それはおかしいと言うわけです。がっちり造ってはいけなと。下もぐらぐらしておけば、外れてちゃんと立つと。伊豆の漁村の民家みたいなものだといっているのですが、ちゃんとした建物は外れたらガクッと崩れてしまうので、ちゃんと土台を造る。彼の場合は、本当に地べたすれすれの玉石を並べたような家が残ったことを言うわけです。

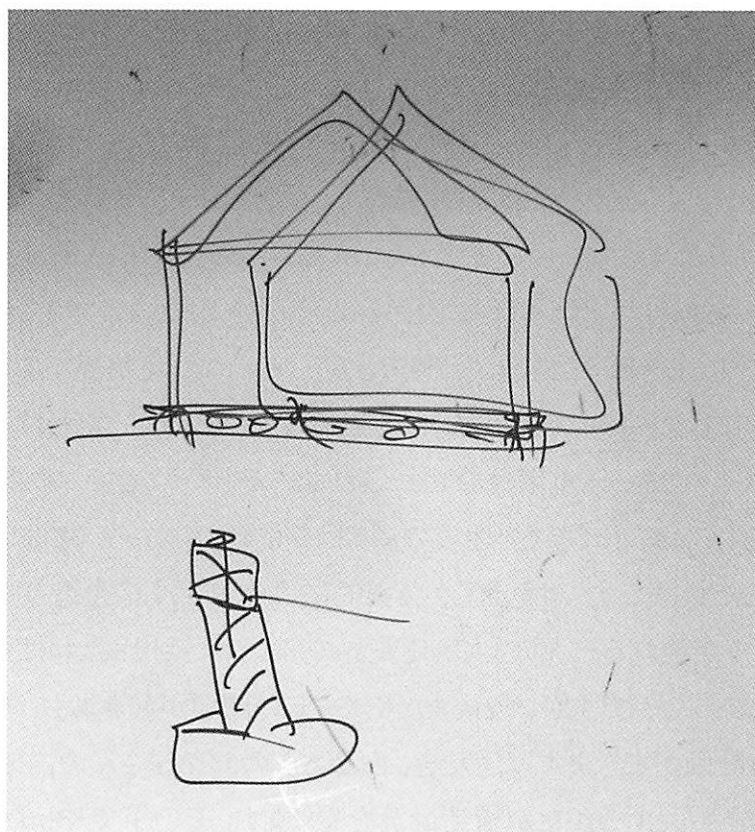


図-4.9 土台が固定されていない家

結局、この柔剛論争が大変派手に起こるわけです。これは大正 15 年くらいから真島さんがガンガン言い始めて、建築学会としては、最初はちゃんといろいろ答えていたのですが、途中で嫌になってしまいました。嫌になってしまったというのは、幾つかあるのですが、一つ

は、柔構造で実際造った例があったのです。これは結果的にそうなったのですが、丸ビルです。丸ビルは三菱地所が設計しました。これは内田祥三が構造を見ていたのですが、鉄骨の断面を剛構造で決めてニューヨークに発注しました。施工をするのは、今も残っていますが、ニューヨークのフラータ社という、大変当時有名な超高層を造っていた建設会社です。それが日本へやってくるわけです。

フラータ社が、内田祥三が構造計算して送った図面を見て、鉄骨を向こうの鉄骨会社に造らせて、日本に送ってくるわけです。それで内田さんたちが検査に行くと、もう真っ青になります。なぜかという、自分たちが設計したものより、柱もはりも全部細いのです。それで、フラータ社に抗議をすると、おまえたちはちゃんと鉄骨造なんて造ったことがないだろうと。それはあまりなかったのです。おれたちは超高層を造っていて、水平力はニューヨークの風で計算して、これで十分だと言うのです。地震のことを言っても聞いてくれないわけです。結局その届いたもので造るしかないということで、できるだけ補強もしながら造ったわけです。

できてすぐ関東大震災が来ます。そうすると、確かに柔構造でぐらぐら揺れて、建物は壊れないのです。でも、壁は落ちるわ、窓ガラスは割れるわで、全く使いものにならない。要するに、建築の構造体としては大丈夫だけれども、ぐらぐら揺れてしまうからもうぼろぼろで、結局1年くらい補修をせざるをえなかったわけです。

それを建築界の人たちは知っていますから、真島さんの言っていることはいいかもしれませんが、揺れたらあとはもうぼろぼろでどうしようもないよと言うのですが、真島さんは、それは関係ないのです。しきりと柔構造、柔構造と言う。それで、建築界があまり現実的ではないということで相手にしないものですから、一応議論はそこで終わったわけです。

当然真島さんはそのとき、五重塔はなぜつぶれないかということで、木造を緩く造っておくと、その周期が長くなり、長くなると地震の周期より長いですから、共振しないで倒れないということを言われたわけです。けれども、現実的にはそういうものを造っても壊れてしまう。要するにディテールが壊れるということで、建築界のほうでは無視したわけです。

これで済めばよかったのですが、戦後またややこしい問題が起きます。戦後、東京駅を超高層にしようという計画ができます。このとき、内藤さんのお弟子さんの、内田祥三のお弟子さんでもある武藤清さんというかたが構造計算をやります。その下でやったのが生研の岡田(恒男)先生というかたです。

岡田先生に「あのときどうでしたか」と聞いたら、やはり最初は剛構造でやろうということで造ったそうです。当時10階までしか許されていなかったのを、20階とか30階にする。剛構造のコンクリートでやろうということで柱をだんだん太くしていくわけですが、大きくて斜めに太くするというのをやったのです。たしか20階か30階で検討をしたのです。ちゃんと計算

したら、ほとんど人が通れないものになる。何をしているか分からないですよ。これではだめだということで鉄骨にしようとなるわけです。鉄骨で剛構造は難しいというのは知っていたわけです。だって、あんなでかいものは剛では建たない。鉄骨でいくとすると、揺れを想定した構造でやるしかない。それで、武藤さんがここで柔構造に切り替えて、構造計算をやるわけです。

戦前の柔剛論争を知っている人たち、特に東大は柔構造を捨てて剛構造一本で来るけれども、京大は柔構造の研究をやっていたのです。これはエネルギー論みたいなことから、柔構造のほうがいいということをやっていたわけです。それで、さんざん柔構造をばかにしておいて、おまえたちが超高層をやるとなったら柔構造をやるのかと、ものすごく怒るわけです。

このことを武藤先生のお弟子さんの梅村(魁)先生に聞いたのです。ちょっと武藤先生には聞きづらかったのです。柔剛論争の当事者でしたから、梅村先生に「柔構造に変わるときに何かちゅうちょとか、いろいろぐちゃぐちゃ言われていましたけれども、どうでしたか」と聞いたら「いや、別に精神的には何もなかった」と。「なぜですか」と聞いたら、当時、戦前は、10 階建てまでだと剛構造のほうがいいと。今でもそうですが、10 階建てなんか柔構造でやらないです。剛構造でやります。ただ、10 階建てを越えれば柔構造がいい。そのように我々は使い分けて考えていた。だから、あまり柔剛論争で柔構造を批判したことから転向したという気はない。ただ、要するに、10 階以上に条件が変わったから柔構造をやるのだという言い方をしていました。

武藤先生は霞が関ビルを造って文化勲章をもらうのですが、そのときのインタビューで、新聞記者に非常にまずい発言をするのです。「柳に風のごとく」「五重塔はなぜ壊れないか」ということを説明するわけです。自分はそこから柔構造を学んでこれを造ったと新聞記者に言うわけです。そうすると、新聞記者は分かりやすいのがいいですから、すぐそれを書くわけです。それはやはりまずいだろうという気が僕はしたのです。

武藤先生にそのころのことを聞いたのです。そうしたら、自分が五重塔から柔構造を学んだなんて絶対一言も言わないです。だって、そんなことはあるはずがないのです。戦前さんざんそう言っている真島健三郎を批判しきっていたわけですから。むしろそうではなくて、恐らくアメリカの鉄骨などから、やはり 10 階を越えると鉄骨しかない。鉄塔とか、そういうもので分かっていたから。この、剛構造でやろうと思ったらとんでもなくなったという話も、新聞記者に対してはしないのです。けれども、そうではなくて、やはり必要に応じて鉄骨でやらざるをえないと変わったわけです。

ただ、武藤先生に聞いておかしかったのは、霞が関を造っていちばん心配したのは、実は地震ではないと言っていました。地震のことはけっこう計算できた。地震でつぶれない、そ

の変位に合わせたディテールはまた苦勞して造るのです。揺れても壊れないディテールがそこで考え出されるのですが、いちばん苦勞したのは何かというと、それではない。微妙な揺れ、船酔いのような揺れで、執務ができなくなる可能性がある。日本はしょっちゅう台風が来ますね。あるいは台風でなくても、中規模な風が吹いたときに、事務をされていて、それが船酔いを起こしたらもう使えなくなるわけですね。風が吹くたびにみんな船酔いになって、オフィスのビルが全部パーになる。それがいちばん怖かったと言うのです。

それを何とか防ぐために彼はどういうことをしたかという、全体としては柔構造で造ります。ただ、このシャフトの部分があります。プランでいきますと、ここにコアがあります。ここにエレベーターとかパイプが全部通るのですが、このコアに耐震壁を入れるということを考えつくわけです。この耐震壁は、実際に壁があると、ここに切り目が入っています。壊れるように、切り目を入れた、ここに壁を入れる。彼の考えたのは、風程度の揺れだとこれの剛性で揺れを少なくするけれども、本当に地震が来たら、これがバリバリと壊れて、ここで地震を吸収することです。それでやれば、これが非常に役にも立つ。結局、彼は、わざわざ壊れるための耐震壁というか、壁を入れるわけです。これは実際、東北大学が地震にやられたときにものすごく有効に効いたことが、武藤さんのお弟子さんがやって分かっております。大体今はこういうことでやっております。

それで現在まで来るわけです。これで大丈夫だと思っていたら、また変な問題が起きたわけです。これは本当に僕も具体的に知っていることですが、十勝沖地震で、超高層ではなかったのですが、法律どおりに造ってまじめに施工した学校の柱がバリバリ折れてしまったわけです。逆に言いますと、戦後初めて直下型が都市で起こったのです。

それでどういうことが分かったかという、こういうラーメン構造があって、ここがピロティになったわけです。柱があったら、これがベンベンみんな壊れてしまったわけです。その壊れ方は、グジャツとなるのです。阪神大震災でなったのがそれかどうかは知りませんが、途中でバーンと爆発したようになって壊れて、鉄筋がむき出しになる。せん断で壊れた。直下型でとんでもないせん断がかかるというのが、それまで知られていなかったのです。これを何とかしようということで、新耐震ができます。新耐震は生研の岡田恒男先生が作ったのです。新耐震というのは、せん断に対しての対応です。

具体的には、これは意外ですが、同じ壁のところに柱があって、ここにはりがありますね。窓を開けるときに、それまでこのように開けていたわけです。それを岡田先生の指導で、窓はこのように開けるなど。前面的に開けるか、このように開けろとなるわけです。さんざん調べた結果、ここが拘束されていると、実際に柱としてせん断に耐えるのはこの部分なわけです。この部分に、短ければ短いほど強力なせん断がかかるので、こういうところは極短柱はよく

ない。このようにやるのだったら、むしろ一層全部ぼっくり開けたほうがいい。そうするとせん断力が全体にかかって、1か所に行かないというのが新耐震の基本です。

これを岡田先生から聞いて、あまりリアリティもないものだから、そういうものかなと思いました。阪神大震災の跡へ行って、学問というのはやはり偉いなと思ったのは、拘束された短い柱はみんなここがやられていました。それで、岡田先生が新耐震で造られたものを全部、行って調べたら、ほとんど大丈夫だったのです。新耐震以前のやつが全部ではないですけれどもほとんどやられていたのです。

それで岡田先生は、日本で一応想定される地震は新耐震で全部大丈夫だという結論を出したわけです。その結果、大きな地震、あるいは新しいタイプの地震があるたびに、建築基準法の細かいところ、建築基準法そのものではないですが、計算のしかたとかを変えてきたのですが、岡田さんの出した結論は、新耐震でやれば問題はないから、法律は変える必要はないということになったわけです。あとはまじめにちゃんと手を抜かないように施工さえすればいいと。実際、阪神大震災の後始末を全部岡田先生がやりまして、その中で、岡田さんの新耐震でもう全部済むというのが建設省の結論になってしまったわけです。

その結果、また大変なことが起きます。建築学科の構造に人が行かなくなるのです。だって、やることがないのです。地震が来るたびに壊れるから学者が必要だったのです。地震が来ても壊れないとなると、あとは施工の問題ですから、それはもう建設会社と設計事務所と、建設会社の研究所でいいわけです。やることがなくなってしまったのです。

しかし、なぞのせん断力というのがあって、ちょっと信じられないくらい、鉄骨造のこれくらいのH型鋼が、かみそりで切ったようにすっぽりずれたのです。ずれたという感じです。全然ゆがみも何もないのです。このH型が横に、ここがすっぽり切れて、こうなってしまったのです。これは、こんな荷重をかける機械がないものだから、再現実験ができないのです。爆発か何かさせればできるかもしれないけれども、それはなぞなのです。もう分からないのです。

僕が見た中で、やはり変な力があると思ったのは、この四つ角に、石、無筋のコンクリートで造った、人が飛び出さないようにしたこのくらいのものがあるのです。これがここですっぽり切れて、頭が転がっているのです。こんなものがどうやったら壊れるのだろうと。これは壊せといっても壊しようがないのです。要するに、これはもう分からないのです。それから、神社で、これは僕ではなく、僕の知り合いが見たのですが、神社にずっと玉垣があって、ここが何かつないであって、御影石で造ってある。ここがきれいにダーッと切れていたのです。だから、これと同じ現象です。ただ、こういう問題はありますが、一応今のところ岡田先生の判定によって、建築基準法は変える必要はない。日本の耐震構造学は終わったわけです。日本の耐震構造学はもうこれで終わったというのが岡田先生の判断です。

果たして終わるかどうかは、次の地震が来て、新耐震で造ったのが大丈夫であれば、2 度大丈夫だったらもう大丈夫ですから、終わったことになるわけです。ただ、土木のほうでは相変わらず訳が分からない状態です。だから、それは大丈夫です。実用の学問は、けりがついてしまうと本当に困るのです。一応建築のほうは、岡田先生の判断ではけりがついたということになっています。

以上で私の話を終えたいと思います。

5. 閉会のあいさつ

目黒 公郎 (ICUS 教授)

(魚本)

本日のご講演が全て終わりましたので、閉会の挨拶を目黒教授にお願いしたいと思います。

(目黒)

非常に有意義で楽しいお話を聞かせていただき、また質問などもすばらしく、良い会となり非常に嬉しく思います。ICUS としましては、オープンレクチャをずっと企画しております。これは、大学が一般の社会の皆様へ情報を発信する場で、お互いに意見交換を行う場所と考えております。これからも続けていきます、次回はおそらく 3 月頃になると思います。科学技術や様々な技術のコミュニケーションに関する内容を考えておりまして、3 名位の方のお話を伺う予定です。皆様、年度末で忙しい頃だと思いますが、足を運んでいただければ幸いです。また、今日、私どもで懇親会を企画しております。いつものような会費制で行わせていただきますので、野口英世 1 人を連れていただければ、野口英世 1 名以上の飲み物や食べ物をご用意させていただいておりますので、是非是非、参加いただければ嬉しく思います。5:15 頃から始めさせていただきますので、時間に余裕をみて、集まっていいただければ幸いです。それでは、本日はどうもありがとうございました。

東京大学 生産技術研究所
都市基盤安全工学国際研究センター
153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1
<http://icus.iis.u-tokyo.ac.jp/>
E-mail: icus@iis.u-tokyo.ac.jp

Tel: (+81-3)5452-6472

Fax: (+81-3)5452-6476