

(3) 橋梁診断の基礎概念と既存橋の診断例について

金沢大学 小堀為雄, ○城戸隆良, 津田和俊, 近田康夫

1. まえがき

既存の橋梁の中には架設されてから相当年数を経たものが多い。その中には種々の形式橋がある。それぞれは各固有性能をもって存在し、それぞれの置かれている環境条件（外的特性、外的条件）の中において供用期間のあいだ耐え使用に供する必要がある。ところで、供用中において種々の損傷、損耗が観察されることが多い。最近、重要視されるようになった点検調査と損傷、損耗度の評価、あるいは、補修の問題など一つの橋梁を例にとっても難しい問題が多い。そこで、これらを個々の問題として扱うのではなく、早く共通する概念として考えまとめることが必要である。

本研究は、このような観点から共通課題として一つの重要な段階である橋梁の診断について基礎概念を一案としてまず述べ、その概念に基づいて実務調査を行った既存橋の一診断例をあげながら診断上の問題点を示すものである。

2. 橋梁構造物のライフサイクルと耐用性

橋の診断を行うには、その前提基礎としてライフサイクルと耐用性の面について考えておく必要があろう。本研究では、橋の一生について、生成過程、供用過程、寿命過程なるものを考え、この過程を通していくつかの面が示されると考えた。

(1) まず、橋の計画、調査、設計、製作、架設施工という生成過程を考える。その過程の中でどのような対応、対策が行われていたかという問題がある。既存橋はこの過程によって固有性能が決定づけられている。そして一連の不確かな誤差成分は少なからず伴っていると考えられる。既存橋において後に誤算が発見されても、その原因発見そのものが事後対策に対して必要十分ではなく、その解決は現状レベルにおいていかに効果的な対策をとるかが実務的に要求される。

そこで、生成過程記録の基礎的なこととして設計書、図面、工程、試験データなどの生成過程に関するデータを管理主体が保管し、事後の維持管理および補修などに必要とする場合、適確に橋梁情報として提示できる体制のできていることが望ましい。

(2) 橋が架設されてから供用上、種々の作用を受けるため、既存橋は何らかの損傷を生ずる可能性がある。一般には点検（通常点検、定期点検、異常時点検）によって損傷、損耗の程度をとらえる。特にそれらの症状、徴候を記録するとともに、その原因を調べ記録する。これは既存橋の既往歴を知る上で重要である。

(3) 橋が相当重度の損傷、変状、損耗があると見られた場合、詳しく調査を行い、補修の要・不要を判断する過程が必要となる場合がある。補修を行う場合は適確な診断を行い、有効な補修方法をとった後、その効果の確認が必要となる。また、補修を行わない場合も、その後の追跡調査が必要であらう。ここに調査歴、補修歴の記録も重要となる。

(4) 上記のように過去の経歴や現状を知ること重要であるが、その既存橋の将来についての見通し、すなわち、耐用性の考え方も重要となる。

耐用性を耐用期間的な考え方で臨むとすれば、つぎのような性能について評価をすることが必要となる。

耐荷性：耐荷性能がどの程度あるか（抵抗と作用との関係）

耐久性：使用上において欠陥が生じないか（損傷，損耗，疲労など）

変形性：使用上，安全な変形状態であるか（たわみ，振動など）

使用性：使用上，機能上あるいは景観上，安全で快適で経済的な使用状態であるか（機能性，安全性，維持管理保守性，社会的要請（景観性，騒音，振動影響）など）

これらの性能，状態については簡単に分類できない面があり相互関連のある問題が多い。しかし，基本的には上記のものについて必要な診断面を考慮調査・分析（解析）・診断を行うことが考えられる。その他，上記の性能，状態について寿命的な観点から評価を進める場合，一般につぎのように分けられる。

物理的寿命：物理的な性能寿命，全体寿命と部品寿命との関係，作用と抵抗との関係

機能的寿命：使用上，不都合となる場合

経済的寿命：維持管理，補修に関する費用の増大と効果減少

社会的寿命：社会的に使用の必要性がなくなる場合，社会的要求による場合

以上のように既存橋の寿命，あるいはライフサイクルにおける時間的スケールと各時点における耐用性の考え方を図化しようとしたのが Fig. 1 である。既存橋の診断を Fig. 1 の現在時点，すなわち，調査時点における問題であると仮定する。そうすると，既存橋の経歴，資料を調査し，調査時点における点検調査，試験調査などによる結果を基に必要な各種診断を行い，それらの結果をまとめて最終的に問題点を整理し，評価を行う総合的な診断に進むものと考えられる。このような過程によって将来への見通しを考え，更務的，効果的な対策を考える段階へ入ることができよう。

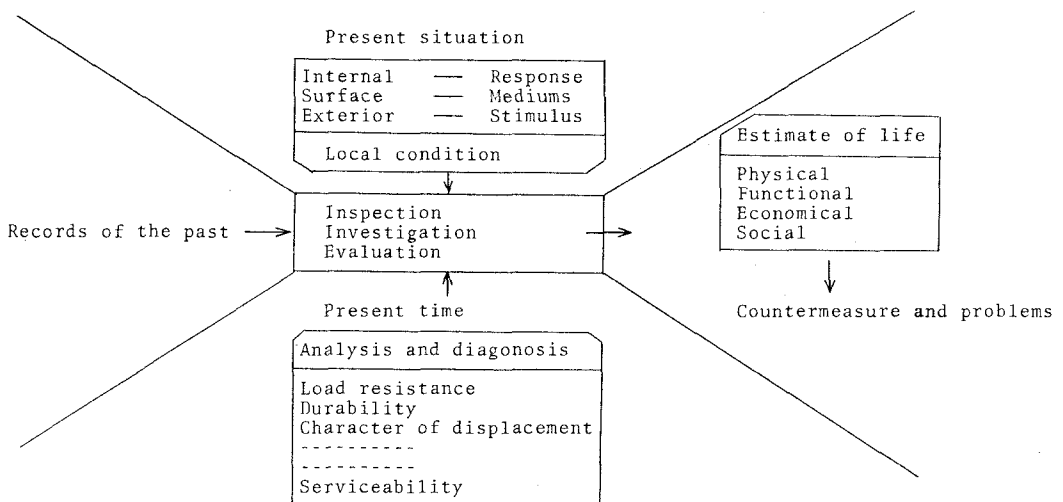


Fig.1 The fundamental concepts on the diagnostic stage.

3. 既存橋の診断面

診断面はいくつかの段階を考えることができる。診断目的を「既存橋の状態を調べ、今後に対してどのような問題点があるかを明らかにし、効果的な対策を立てるための前提条件を得ること」であると仮定し本研究ではつぎのような段階を一案として示した。

(1) 予備調査：あらかじめ必要と考えられる調査である。既存橋の状態をとらえる上で必要に応じてつぎのような調査を行いデータを収集する。設計図書調査と既往歴（損傷、補修、調査、交通、維持管理）などの経歴調査がある。また、調査時点における橋の環境についての調査として、内的特性（橋本体）の状態（損傷の症状、徴候、原因）を点検調査する外観調査（変状調査）と、外的特性（作用条件）の状態を調べる環境的調査が考えられる。

外観調査として、橋本体の表面状態（路面凹凸・段差、塗膜など）を調べるものと、損傷状態を調査する損傷調査、および寸法調査などがある。内部的な診断は高度な精密検査・診断と考える。

環境的調査としては、たとえば交通荷重調査などがあげられる。以上のデータのうち、点検調査によって得られる点検データが主に現状問題を知る上で重視される。

(2) 予備診断（マクロレベル）：既存橋を点検することによって得られる点検データを基に行う。診断は各部材の損傷の種類、深さ、規模、および原因を調べ、その症状、徴候をとらえることによって、局部、部分、全体の損傷度をランク的に評価して問題点を得るレベル。

(3) 1次診断（ロウレベル）：診断する橋梁の諸元データの現有量にあわせて主に現状の耐荷性を診断するレベル。

(4) 2次診断（ミクロレベル）：耐荷性、耐久性、変形性について必要な検査試験を行い、そのデータを基に橋の主要点の危険度をより確かに診断しようとするレベル。

(5) 精密診断（ハイレベル）：特に高度な技術、理論を必要とする診断問題を対象にするレベルとする。内観的、内視的な内部診断、あるいは、耐震診断、信頼性など高次の解析、振動、疲労、寿命破壊メカニズムなどの診断面があると考えられる。

(6) 総合診断（トータルレベル）：以上の手順のうち必要な手順をとって、その他の総合的知見（使用状態、管理状態など）を考慮に入れて総合的な診断を行う。

本研究では、基本的に以上の段階・過程を想定し、各診断レベルとして示した。それぞれ段階ごとにフルイ分けを行って必要なものについて診断を行い、最終的には各診断の結果を基にして総合的な診断を行うことになる（Fig. 2）。

以下においては、この概念によって調査診断を実際に試行した例について示し、診断を行う上での問題点を述べる。

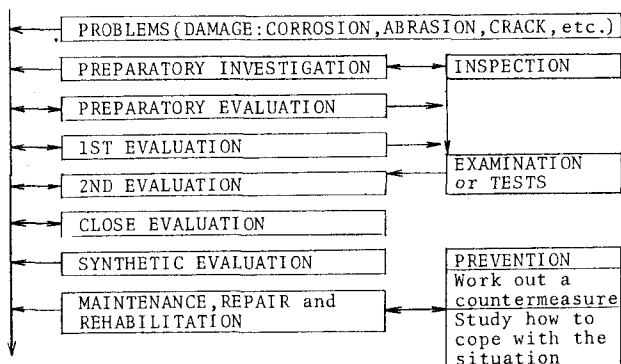


Fig.2 The fundamental concepts of diagnosis for existing bridges.

4. 既存橋の診断例

診断例として示すのはFig.3に示すフレキシブル^{1), 2)}の道路橋である。

4-1 予備調査

(1) 経歴調査(既往歴の概要を示す)

本橋は昭和26年に架設された1等橋で昭和14年鋼道路橋示方書案により設計されていた。昭和38年ごろから床版の損傷が目立

つようになり、昭和43年までに数箇所の応急補修がなされた。昭和43年に耐力調査を行い、その結果、床版補強を目視して補助縦桁を設け、床版の各支間中央を支える方法がとられた。昭和46年には効果確認調査を行った。その後、昭和54～55年には側径間の床版下面のうち主要部に対して鋼板接着工事が行われた。本調査は昭和56年に行ったもので主に中央径間を対象とした。

(2) 設計図書調査：設計書、図面、調査書、橋梁台帳などの現有調査を行い、本橋の諸元を調査した。その結果、不明瞭な点をあげると、下部工資料がほとんどない、図面・材料表が不鮮明、施工方法、補修断面寸法がわからないなどであった。そこで、必要部分の寸法調査を外観調査時に行った。

(3) 荷重関連調査：交通量など交通状態について行った。測定データとして、時間交通量と方向別構成の変化、通過車両の重量別割合(大型、中型、小型)および大型車の通行位置の傾向データを得た。

(4) 外観調査：路面凹凸・段差調査、損傷調査、および寸法調査などの点検、計測を行った。

4-2 予備診断

主に点検データをもとに現状の損傷程度と原因について診断した。近年、損傷度評価をシステムとして開発した所もあるが全国的な統一段階には至っていない。基本的には損傷、変状などの程度をその規模、深さおよび影響度としてとらえることにあり、方法、手段の統一した適確な点検法と診断評価法の確立が期待されている現状である。

本橋において種々の症状・徴候がみられたが、その大項目は上部工では下弦材、床組などの腐食、床版のひびわれ・鉄筋露出腐食、歩道床版のひびわれ・漏水、垂直材の車接触による一部変形、下部工では鉄筋露出腐食、洗掘であった。

Photo 1は1例であるが、支承部格点を示した。主構上部からの雨水の伝達および床版上部からの土砂の堆積などが原因となり、局所的な腐食が進んでいる状態である。

一般に予備診断によって今後の対策の方向について多くを知る手がかりが得られる。よって、たいへん重要な診断面である。まず点検時において重大な症状・徴候・原因を見のがさないことが重要と考えられる。

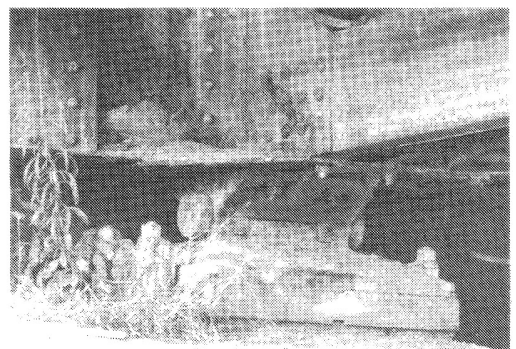
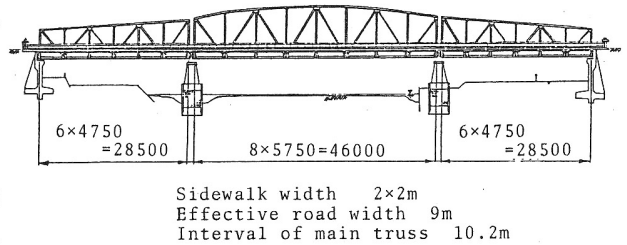


Photo 1. Shoe being corroded.

4-3 1次診断

本橋の諸元と点検データを基に現行の設計活荷重に対する安全性を検討した。設計計算と同様に行った結果、旧設計時において部材応力に余裕をもっていた部材では許容応力に至らない部材もあったが、その他は許容応力を越えた。床組や下弦材においては全体的傾向から見て腐食による断面減少が見られたが、特に下弦材の腐食度合が高かった。仮定として再塗装する場合の減少をも含めて10%の断面減少があるとすれば下弦材の応力状態はさらに危険側となる。設計時と同等の考えで判断すれば、許容応力度を越える部材があることは1等橋としての安全性は保証されないことになる。

4-4 2次診断

一般に実橋の載荷試験結果によれば、計算上の応力状態より実応力状態は若干の応力的余裕のあることが確認されている。そこで、本橋に対して試験調査を行うことにした。なお、昭和43年の調査では同様の試験とシュミットハンマーによる試験、および、鋼材片を抜き取り出して引張試験を行った結果があった($\sigma_c = 317 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$: 試験誤差の考慮が必要)。

試験調査は重量と寸法を計測したダンブトラック(総重量約20t)を4台使用し、静的および動的試験として静的載荷試験および動的走行試験を行った。Fig.4は各測点を示し、○印の各部材は静的ひずみを、●印は動的ひずみを、◆印は動たわみを、そして▼印の測点で加速度をそれぞれ測定した。静的載荷試験の載荷ケースをFig.5に示した。つぎに動的走行試験では、4-1の(4)で測定した路面の状態とダンブトラックの振動状態の関連をみる意味から1台のダンブトラックの荷台などで加速度も測定した。Fig.6に1台のダンブトラックが37.6km/hで走行した場合の一部測定結果を示した。

これらの両試験の結果と過去の結果をまとめたのがTable 1である。

(1) 応力的余裕 (Table 1のs)

本試験の結果、実測値/計算値は1.0より小さいものが多く、構造全体に合成作用があると考えられた。耐荷力計算においてこの余裕を見込めると判断した。ただし測定結果にばらつきのあるものは危険側の値を用いて補正にあてることにした。昭和43年の結果と本調査の結果とを比較すると本調査の結果は縦桁、および下弦材の値などが前者より小さい。これは、補助縦桁の追加、あるいは舗装厚の増加などが原因と思われる。

(2) たわみ

実測値/計算値は0.7となったのでたわみについては問題点はみられない。

(3) 振動

動的係数は設計衝撃係数より小さ目の結果であった。これは支間の中央部材を測定対象とした結果である。し

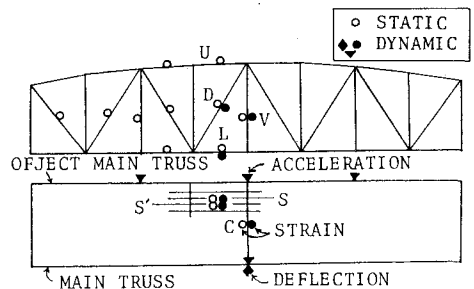


Fig.4 Locations of gauges.

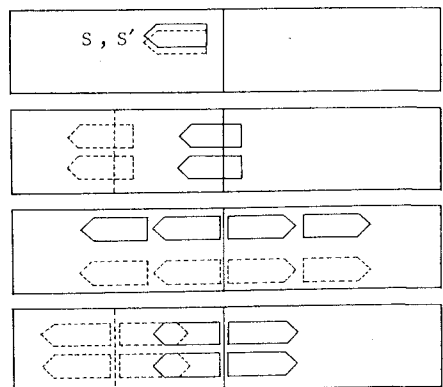


Fig.5 Loading case of static test.

かし、支点の伸縮装置上の段差(2~2.5 cm)を通過した後のダンプトラックの加速度がFig.7の例にみられるように大きいことから、支点近辺が問題になると推測された。

たわみ振動について、ダンプトラックの固有振動数と本橋の固有振動数が近いことから振動が大きくなりやすいが、本試験の段階では大きな問題点は示されなかった。

Table 1 の (b) で示した固有振動数の変化および減衰の変化は、橋全体の動的な固有値の変化を示すものである。質量および剛性などの変化が原因となるので、その変化原因として考えられるものを備考に示した。

以上のように、応力、たわみ、振動について分析検討を行い診断を行った。以下、主に耐荷性診断について述べる。

(4) 耐荷性診断

耐荷力的な面について (1) で示した応力的余裕を活荷重応力に対して適用すると仮定し、1次診断の結果を補正した。各部材の代表値をFig.8のように示した。耐荷力の補正項目については文献3)にいくつか示されているが、実務的に定量的扱いの難しい補正項もあり、ここにおいて主観的、経験的な評価も必要となる。また、基本耐荷力Pとそれについて補正して求める供用荷重は相対的な尺度であると考えられる。これは有用な一つの尺度であるが応力的な危険性については十分ではないと考えられる。そこで、今日の考え方である荷重係数設計法や信頼性概念を基本とすれば、定量的および定性的傾向を示す結論が強く混在する既存橋の診断においては

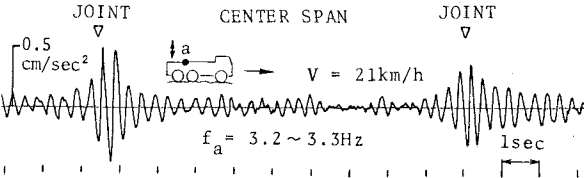


Fig.7 Acceleration wave on the center span caused by passing a truck.

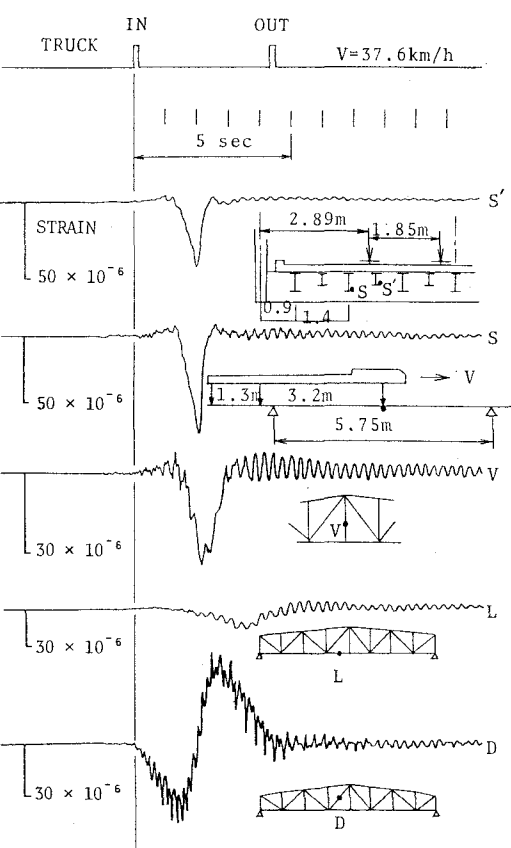


Fig.6 Dynamic strain caused by passing a truck.

Table 1. Results of examination.

(a)

Member Year	s		i
	1971	1981	
Slab	(1.0)	—	—
S	(1.0)	0.6	—
S'	—	0.5	—
C	(0.7~0.8)	0.7~0.8	~0.19
L	(0.6~0.8)	0.5~0.6	~0.30
V	(1.0)	0.6~0.8	~0.16
D	(0.9~1.0)	0.8~0.9	~0.27
U	(1.0)	1.0	—
Deflection	(0.7)	0.7	~0.47

s=Strain ratio; the ratio of tested result to calculated result

$i=d/s_0$

(b)

Year	1971	1974	1981
Natural frequency(Hz)	3.5	3.7	3.4~3.5
Logarithmic decrement	~0.07~	~0.05~	0.05~0.06
Remarks (State)	Slab (Damage)	S' (Addition)	Pavement (Overlay)

ある程度、確からしさで、各診断面の傾向、性質、性格をとらえて行うことになる。

Fig.8の表示傾向を述べると、横軸に各部材の活荷重応力度/合計応力度をとり、縦軸に合計応力度/許容応力度をとって示しており応力的な性格が示される。活荷重の変動性や死荷重の変動性、ならびに各部材、材料の種々の性質、性格などによって、それぞれの固有性能、構造性能は異なる。また、丁荷重的作用傾向のある群とし荷重的作用傾向のある群に分けて考え、その活荷重の応力割合の傾向と応力状態の傾向との関係をとらえる。つぎに、最終耐力的余裕の傾向をみる。一例としてTable 2に示した。この値は各種ばらつきなどを扱わず確定的な傾向を示したが、Fig.8およびTable 2の各傾向を比較評価すると、主構部材よりは丁荷重作用による影響部材が大きな問題になると考えられる。

ここに問題としてあげられるのは交通荷重の生起性である。また、応力の繰り返しによる疲労研究も必要と考えられ、診断上における確定的なデータを得ることの難しさが示される。

5. あとがき

本研究は橋梁診断として既存橋の診断について基礎概念を考え、事例について試行の一部を示した。既存橋の診断は、設計時診断をさらに拡張した診断を含んでいるため全体としての複合判断、評価を下すことが難しい。しかし、診断の重要度は今後さらに高まると考えられ、各種診断法の確立が望まれている。また、診断を適確に下すことは重要なことであるが、それ以上に対策上のハードな面が十分行えるかも問題であり、点検、調査、診断、対策という一連の問題として今後各種研究が期待される。

なお、本例の調査研究にご協力下された石川県をはじめ多くの諸氏に対し謝意を表します。

参考文献

- 1) 城戸・小堀・津田：トラス橋の耐用性調査と一考察，土木学会第37回年次学術講演会講演概要集Ⅰ-104，昭和57年10月
- 2) 小堀・城戸・その他3名：フレントラス橋（御影丈橋）の耐用性調査の1例，橋梁と基礎，昭和58年初月予定（投稿中）
- 3) 日本道路協会：道路橋補修便覧，昭和54年2月

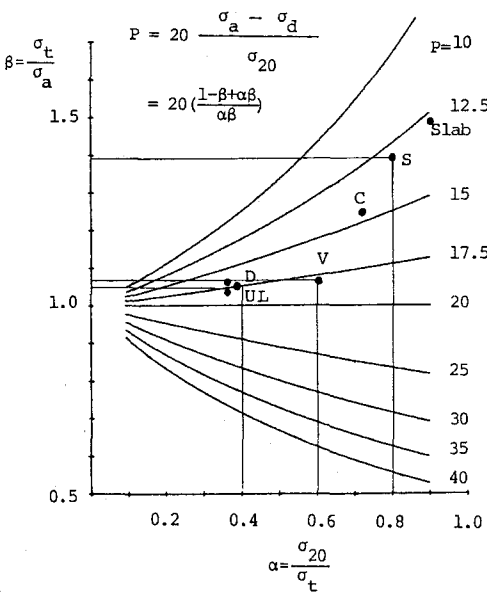


Fig.8 Load resistance of bridge members.

Table 2. Values of α_L and α_D .

$$\begin{cases} \sigma_t = \sigma_D + \sigma_L, \sigma_a = \sigma_u/m, m = 1.7 \\ \sigma_u = \alpha_D \sigma_D + \alpha_L \sigma_L \\ \alpha_L = \frac{m + \alpha_D \beta (\alpha - 1)}{\alpha \beta} \end{cases}$$

$\alpha = \sigma_L / \sigma_t$		0.4	0.6	0.8
$\beta = \sigma_t / \sigma_a$		1.05	1.07	1.39
α_D	1.0	$\alpha_L = 2.5$	2.0	1.3
	1.3	2.1	1.8	1.2
	1.5	1.8	1.6	1.1

A Study on Diagnostic Test of Existing Bridges

by Tameo KOBORI*, Takayoshi KIDO*, Kazutoshi TSUDA*, and Yasuo CHIKATA*

In this paper, it is studied that the fundamental concepts for evaluation of serviceability of existing bridges, and is offered that a method of investigation in order to judge if the bridge should be repaired or not.

We think that the diagnosis of a bridge may consist of six basic processes.

I. Preparatory investigation: The process of collecting data of the local condition that the bridge has been subjected, the records of repairs, and the condition of the bridge, and picking up the problems.

II. Preparatory evaluation: The process of evaluating the damage of the bridge based on the collected data.

III. 1st evaluation: The process of evaluation of load resistance, based on the condition of the bridge.

IV. 2nd evaluation: The process of safety analysis of the main parts of the bridge based on the inspection and the test for investigation of load resistance, durability and character of displacement.

V. Close evaluation: The process of higher level analysis for unique problems of the bridge. (abbreviated in this paper)

VI. Synthetic evaluation: The process of synthesizing the results of some processes among I~V. This process also contains to make synthetic evaluation of serviceability.

As described above, the judgement of an existing bridge has some steps. The judgement is the conclusion of the process of focusing the investigation points. The result of synthetic judgement should give some important suggestions for repairing and maintenance after the investigation.

In this paper, we show the fundamental concepts of the procedures for investigation. And, based on the concepts, we show an example, and point out some problems which occur during judgement process.

* KANAZAWA UNIVERSITY