

実橋計測によるライフサイクルコスト低減に向けた研究
— 成熟社会におけるインフラの維持について —

栗山 幸久
東京大学
人工物工学研究センター

実橋計測によるライフサイクルコスト低減に向けた研究 — 成熟社会におけるインフラの維持について —

栗山 幸久

東京大学・人工物工学研究センター
〒277-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5
kuriyama@race.u-tokyo.ac.jp

日本は成熟社会を迎えているが、高度経済成長期に整備されたインフラの老朽化が顕在化しつつある。米国では1930年代に整備されたインフラが50年を経た1980年代に老朽化により荒廃し、大規模な財政支出により再整備を行った。日本のインフラは高度経済成長期の1960年代から建設が進んだが、多くのインフラが建設後50年を前に老朽化が進んでいる。重要な社会インフラの一つである橋梁は、部材が破断したり大きく腐食が進行している事例が多数見つかっている。一方、日本の人口動態を見ると生産年齢人口は1995年を境に減少しており、人口ボーナス期も2000年代初めに過ぎており、総人口も2010年には減少に転じている。このように生産年齢人口や総人口が減少している局面で、人口増大・経済成長期に建設されたインフラを維持していくには、効率的な維持方法の確立が重要である。

インフラの維持は、従来の破損が起ってから補修する方法では、補修が大規模になってしまう。適切な診断に基づいて小規模な補修を行う方がインフラのライフサイクルコストを低減することができる。そこで、種々のインフラ診断技術の研究が行われているが、なかなか実際に適用し、その効果を確認した例がない。筆者らは、ベトナム ダナン大学と共同で、2012年から実橋で診断を行っている。対象としている橋は、ダナンのハン川河口にかかるベトナム最長の吊り橋で、ダナンの主要港へ渡る物流の要である。2009年に竣工したが2011年には大型トラックが通行止めになっており、橋の状態を診断し劣化を止めることを図っている。腐食と疲労の両方の診断を行っているが、この講演では加速度計を用いた振動計測の結果を報告する。振動計測結果をFFT解析し固有振動数を把握するのみならず、ERA(Eigen frequency Realization Algorithm)を用いて質量・剛性・減衰を同定し振動モードの評価も行った。半年ごとの診断の結果、この橋の場合、路面が荒れているため車両通過による起振が大きいことが判り、ダナン市交通局に舗装の修理を進言し実際に補修が実施された。補修の前後で振動計測を行い、起振が大幅に低減されたことを確認した。

このようにインフラの診断とそれに基づいた補修計画を提示することは、これまでの研究で可能となると考えられるが、日本のインフラの維持に対しては、別な側面での検討が必要である。インフラの維持管理を行う地方自治体では、高齢者に対するケアハウスなどの施設の整備も大きな課題であり、性質の異なる案件を比較し、住民とともに意思決定し、予算を配分して行く必要がある。このような意思決定過程においては、「費用」と「価値」の両方の評価が必要であり、インフラの社会的価値を評価する研究が必要である。更には、人口増大・経済成長期に建設されたインフラを、成熟した人口減少社会において全て維持して行くことは実際には困難であり、インフラの取捨選択を含めインフラの維持の全体的な計画が重要と考える。費用と価値の見合いによる「社会インフラのトリアージ」を行う枠組みを研究・構築して行く予定である。

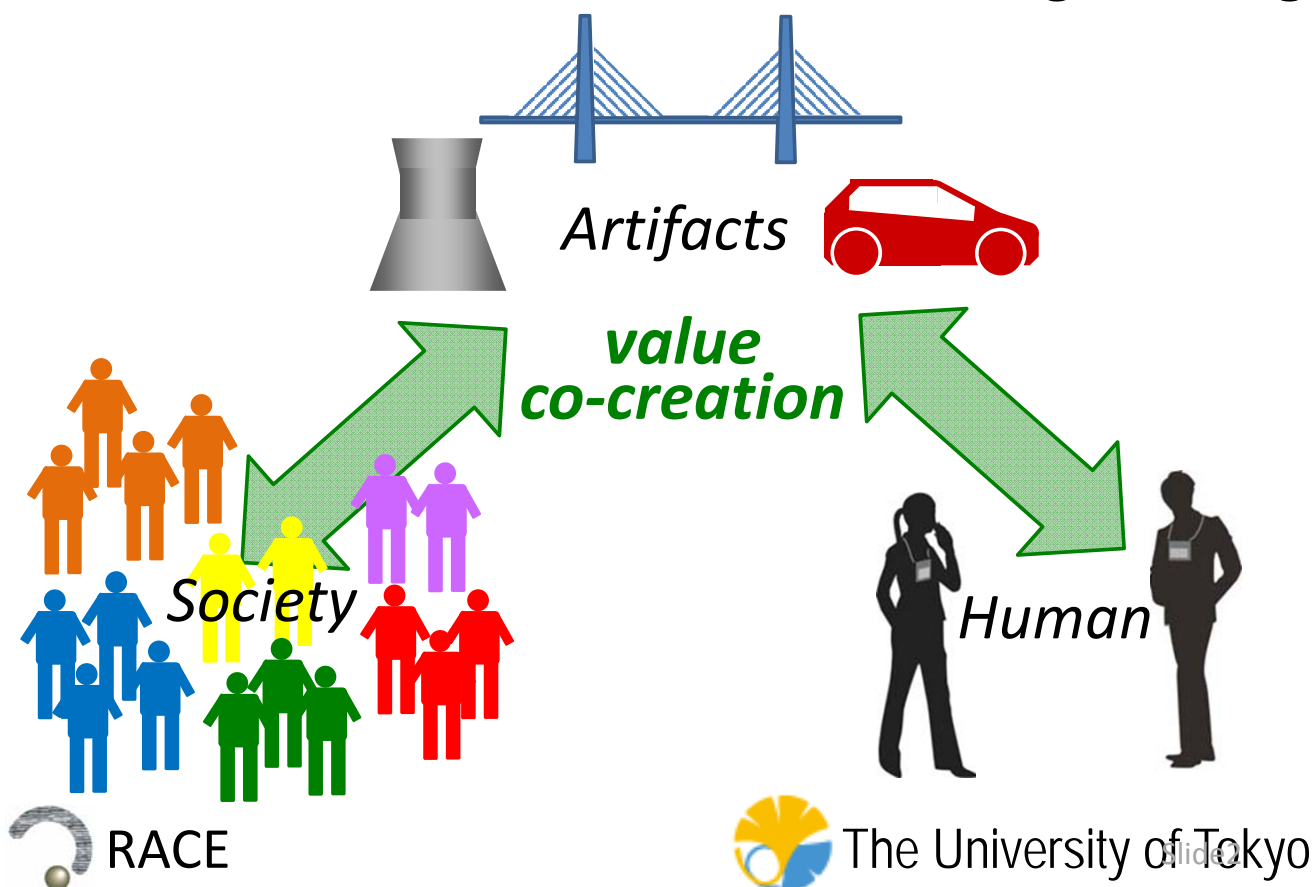
「実橋計測によるライフサイクル コスト低減に向けた研究」 — 成熟社会におけるインフラの維持について —

2014.1.16

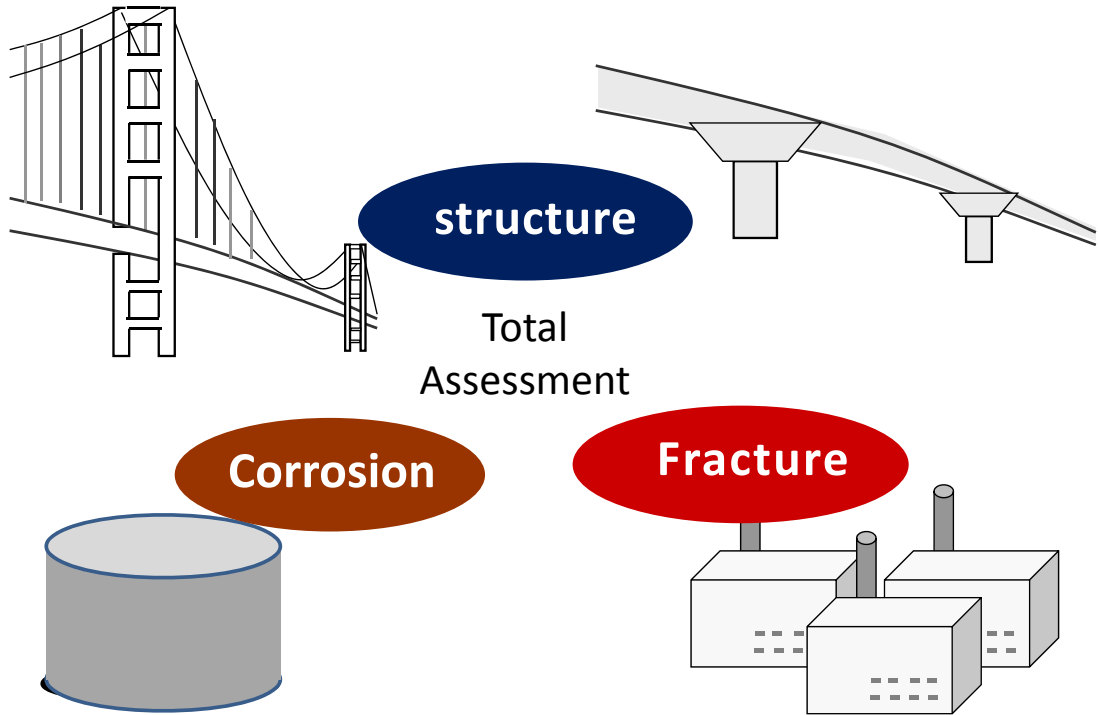
東京大学 人工物工学研究センター
栗山 幸久



Research into Artifacts Center for Engineering



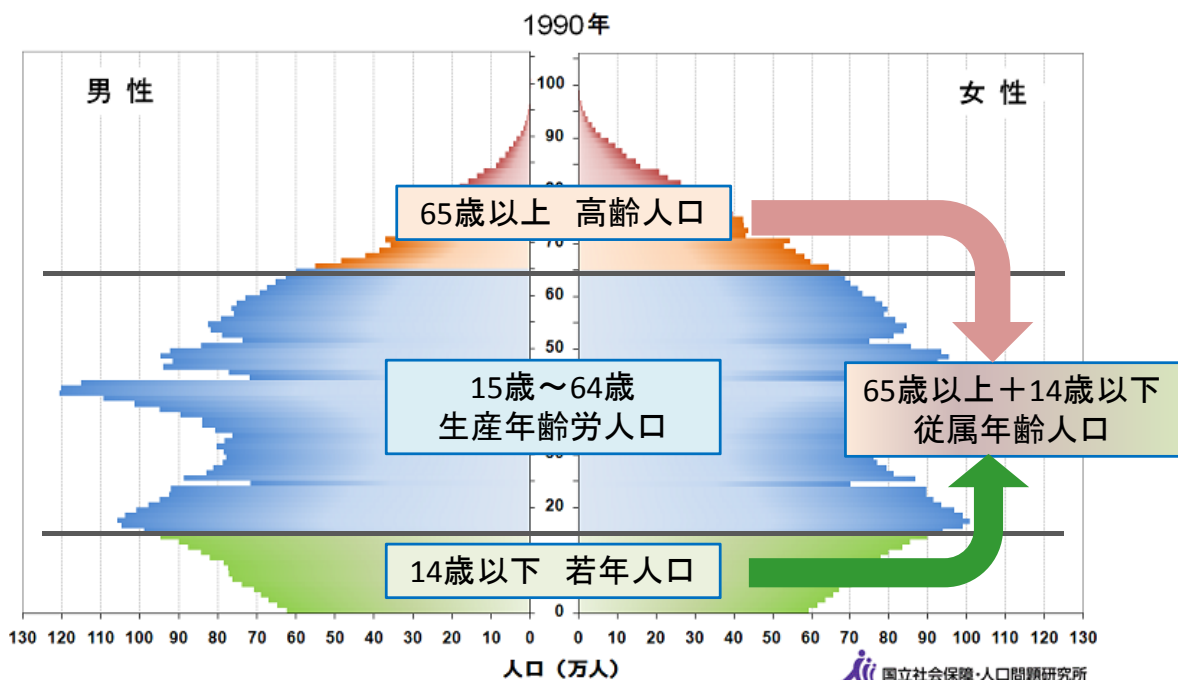
Assessment on Infrastructure



Slide3

Demographic Dividend

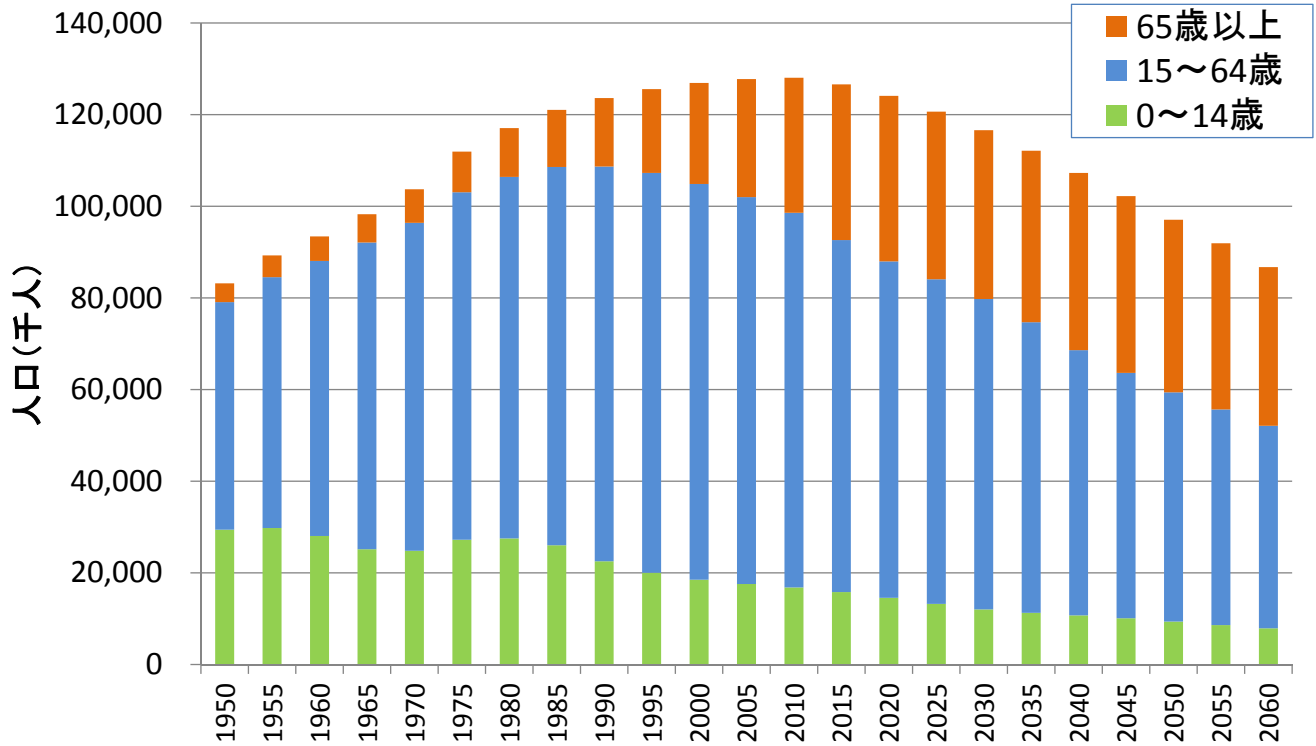
人口ボーナス: 生産年齢人口 が 従属年齢人口 の2倍以上



資料：1920～2010年：国勢調査、推計人口、2011年以降：「日本の将来推計人口（平成24年1月推計）」。

Slide5

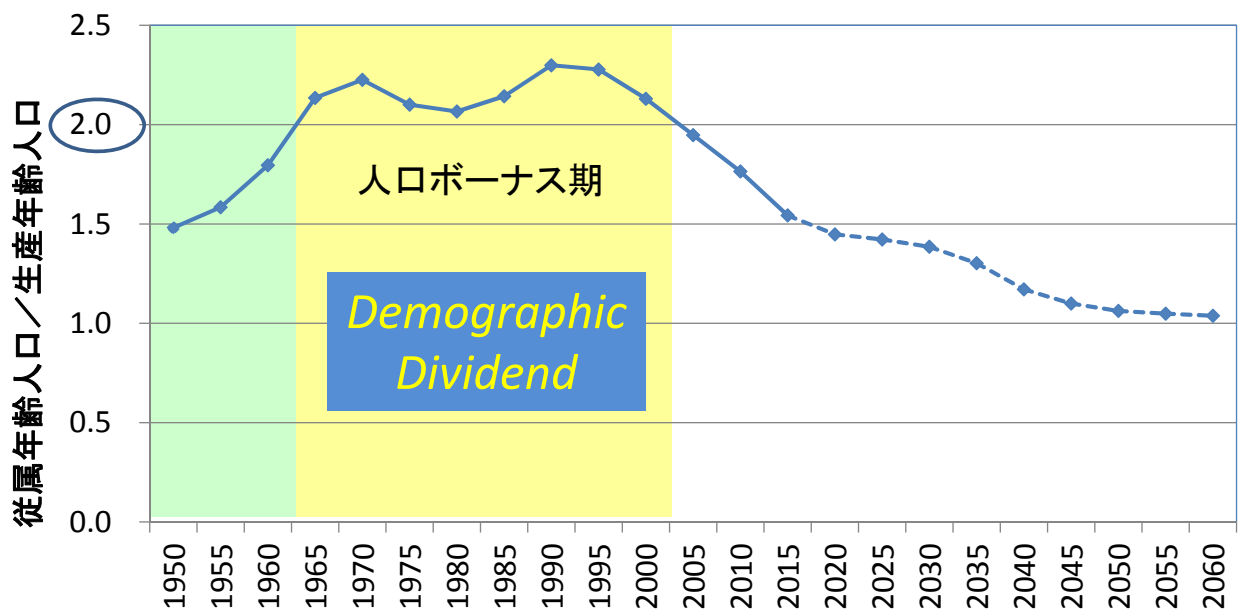
日本の生産年齢・従属年齢人口の推移



総務省統計局『国勢調査報告』、『日本長期統計総覧』および『人口推計』による

Slide6

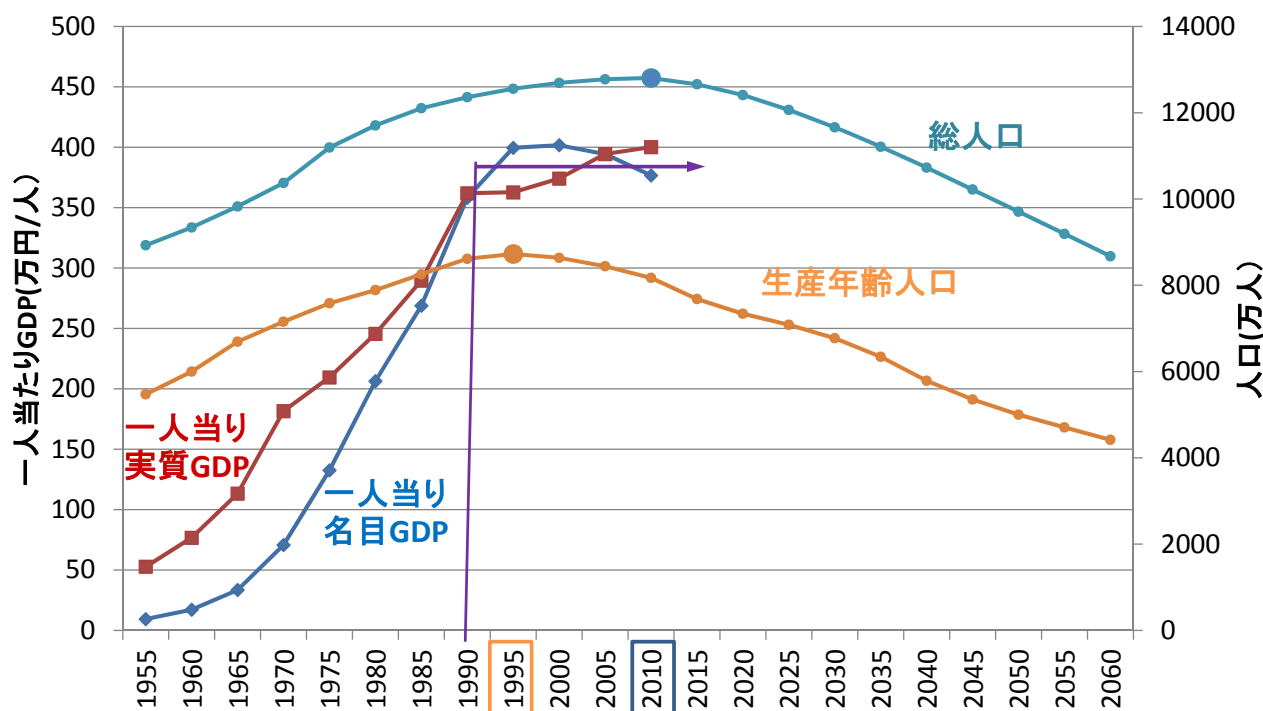
日本の従属人口と生産年齢人口との比の推移



生産年齢人口：15～64歳、従属年齢人口：0～14歳および65歳以上

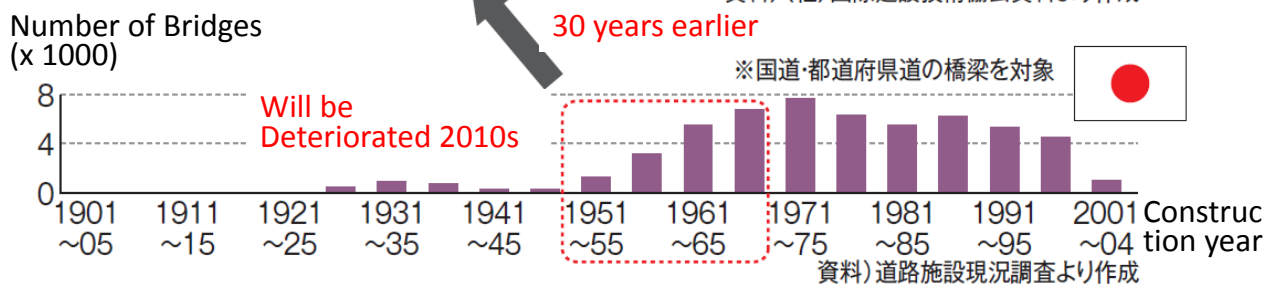
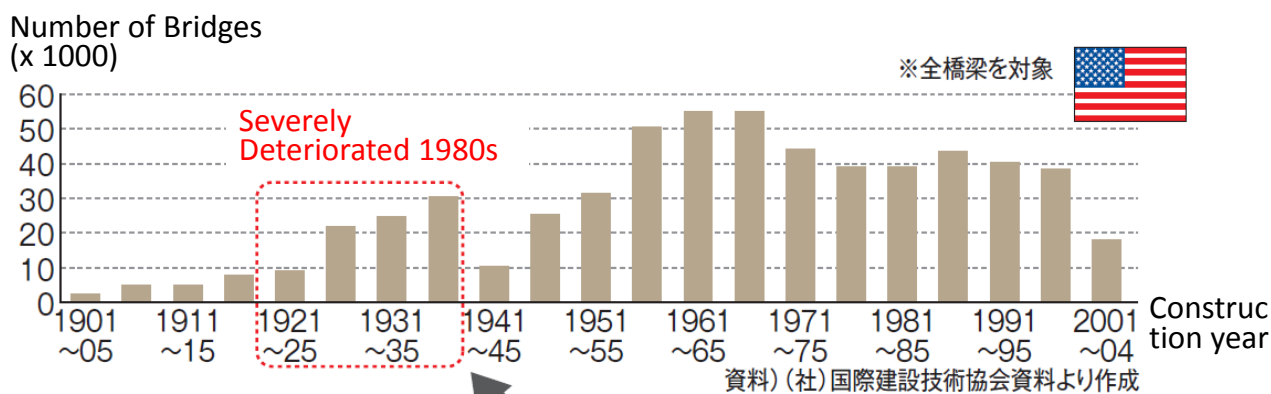
Slide7

総人口・生産年齢人口と一人当たりGDPの推移



Slide8

Life of Infrastructure

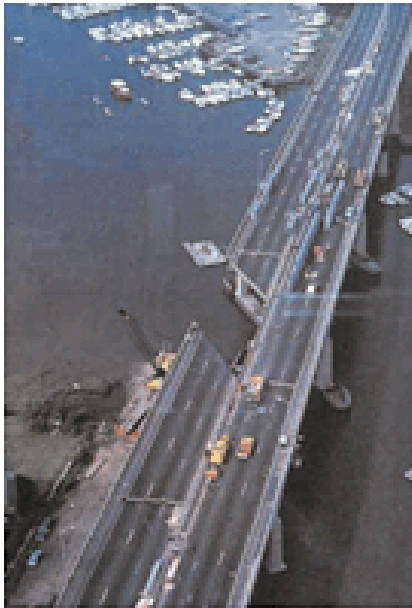


Report of Japan Ministry of Land, Transportation in 2006

Slide9

Deteriorated Infrastructure in US

Collapse of Mianus bridge
(1983)



“Devastated America” in 1980s



Lack of maintenance resulted in severe deterioration of infrastructures. It was called “Devastated America” for this situation in 1980s.

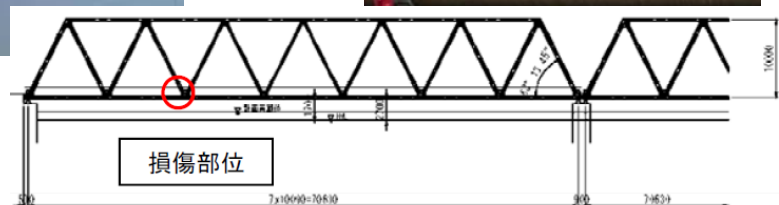
Report of Japan Ministry of Land, Transportation in 2006

Slide10

木曾川大橋の例



国交省予防保全資料
www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/



支保工による仮受け



当て板による補修

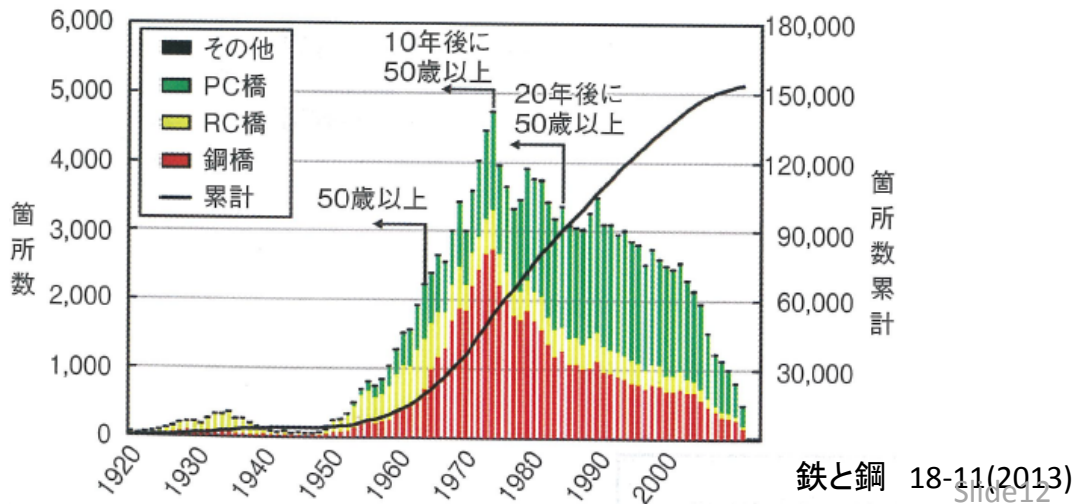


補修完了

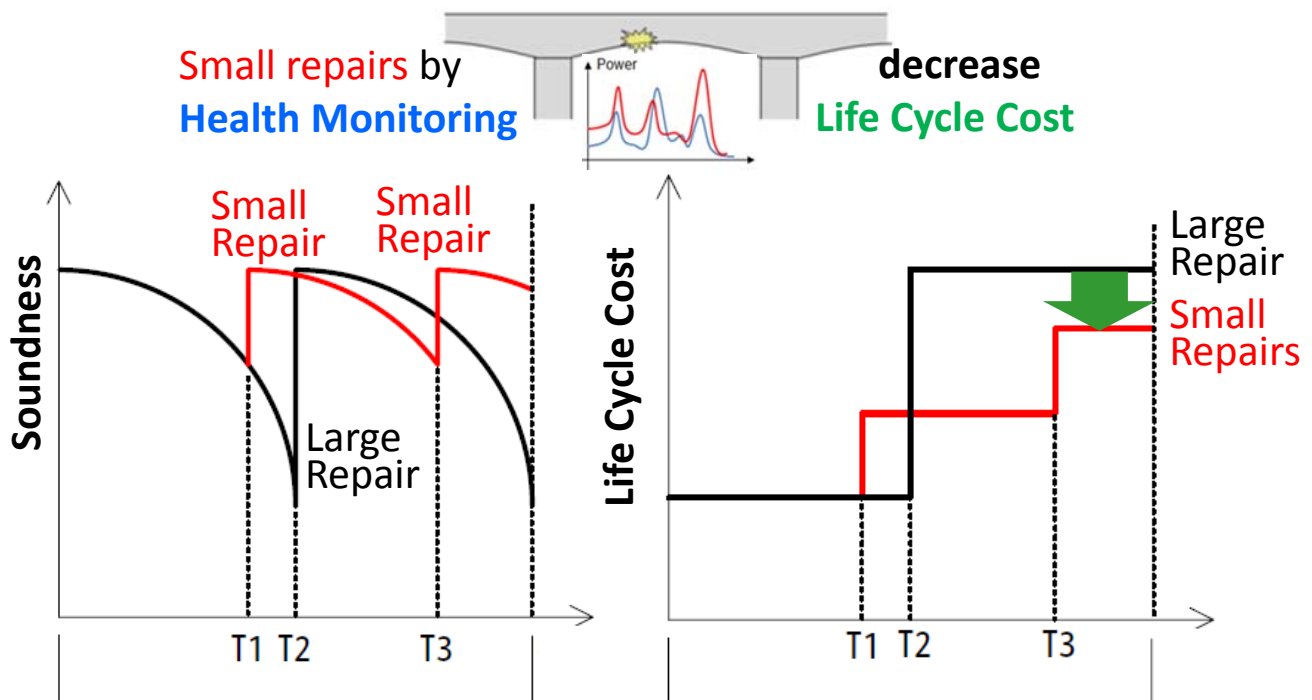
Slide11

日本における橋の老朽化

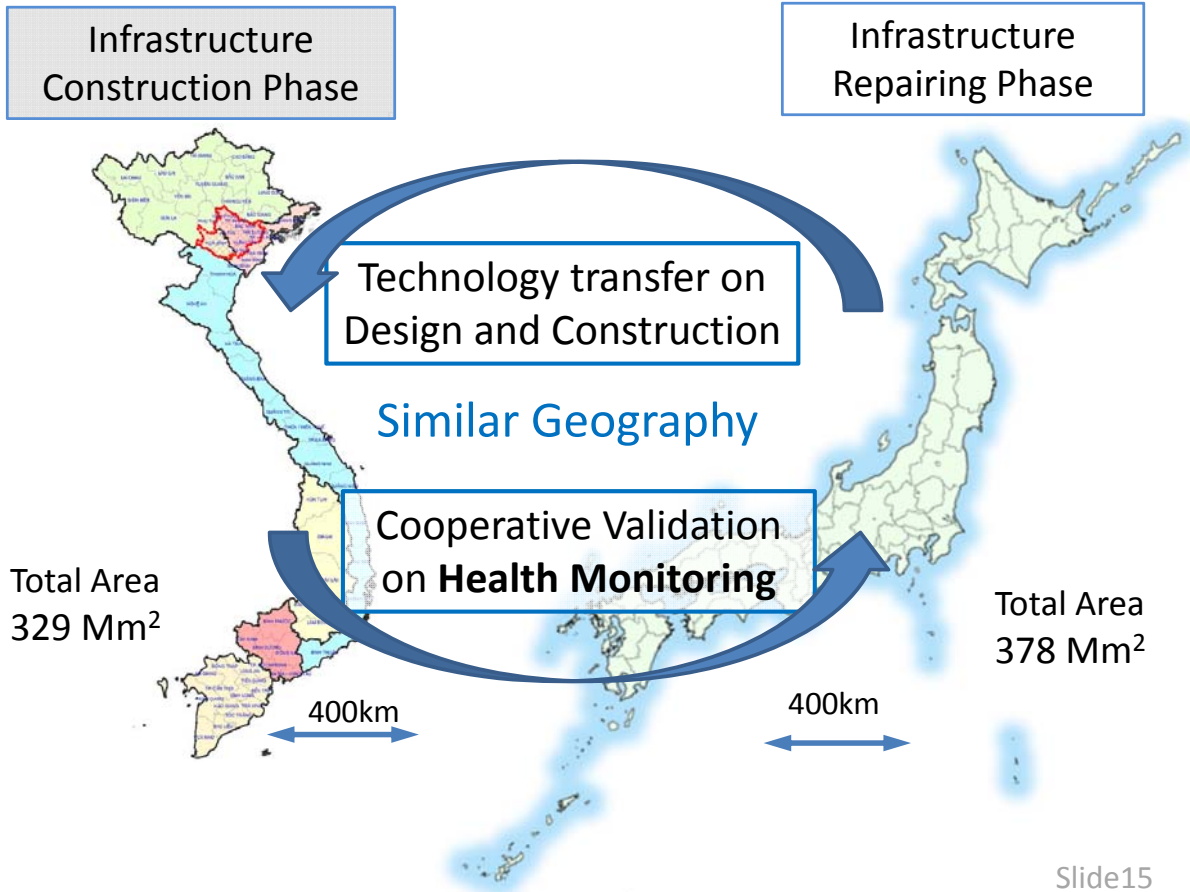
- 三重県 木曾川大橋 橋齢44年 斜材の破断 2007年
 - 秋田県 本荘大橋 橋齢41年 斜材の破断 2007年
 - 大分県 筒井大橋 橋齢39年 斜材の腐食 2007年
 - 秋田県 本殿橋 橋齢44年 吊材・横桁の腐食 2008年
 - 千葉県 君津新橋 橋齢35年 吊材の破断 2008年
 - 福島県 請戸川橋 橋齢40年 主桁の腐食 2004年
- など多数の老朽化事例が報告されている。 国交省 上部構造の損傷事例



Purpose of Health Monitoring

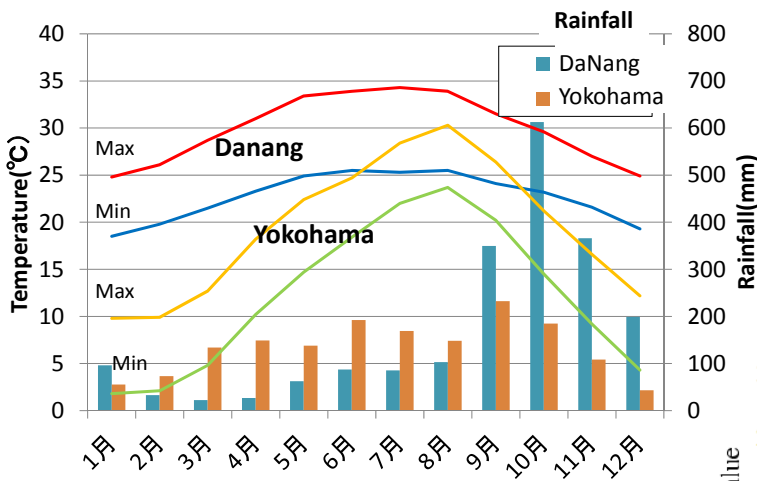


Small repairs by Health Monitoring decrease Life Cycle Cost



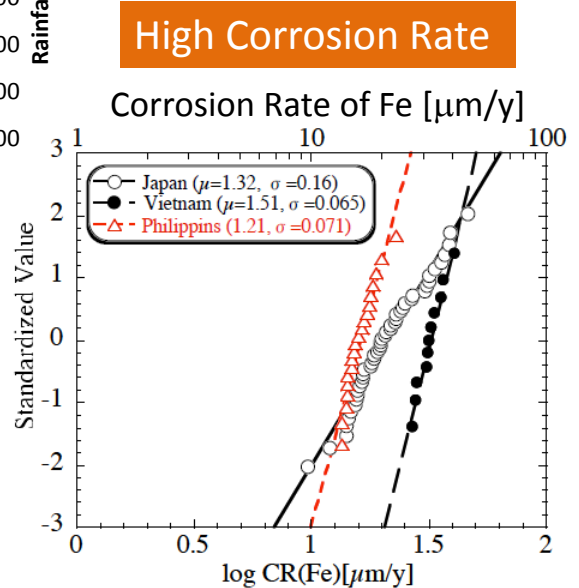
Slide15

Corrosion Atmosphere



High Temperature and Humidity

+Acid Soil ?

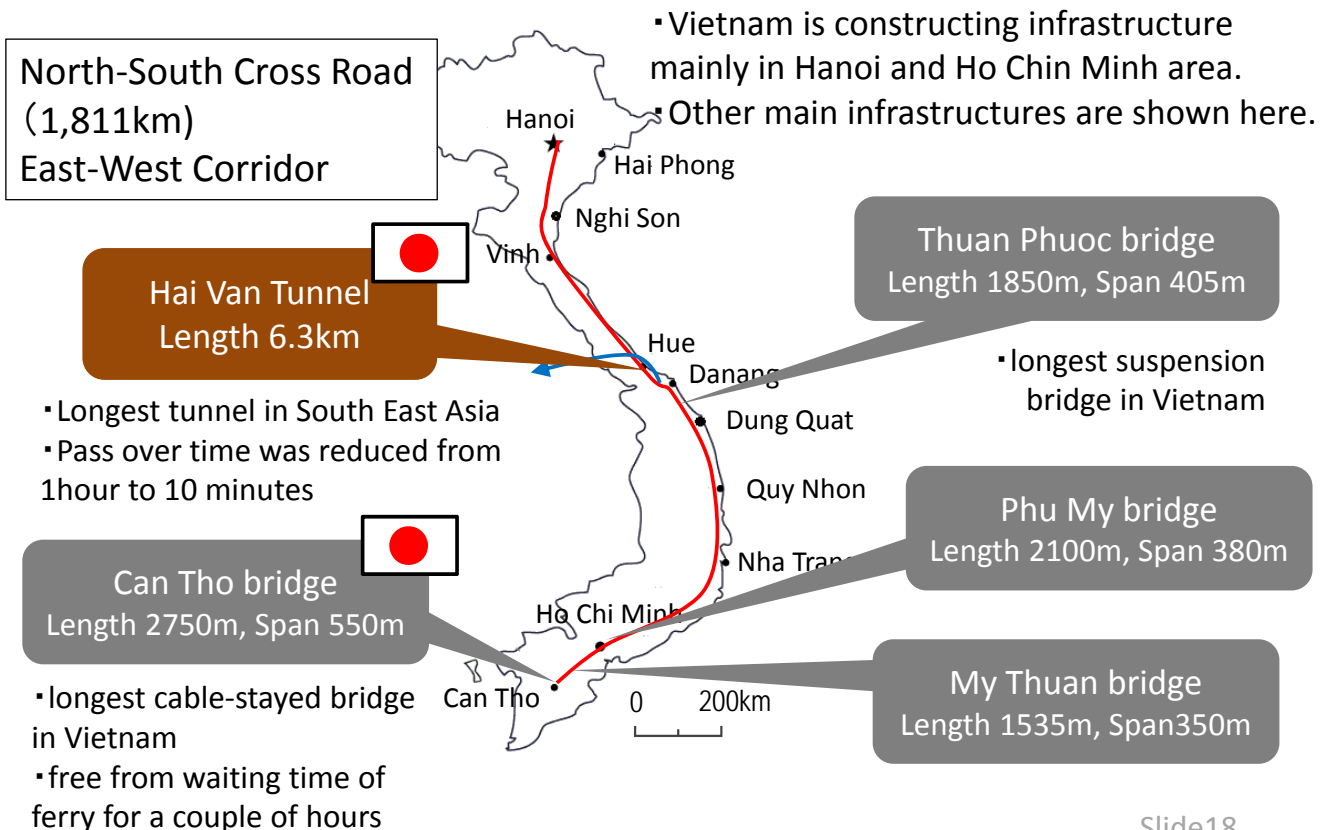


Slide16

Deterioration of Infrastructure



Main Infrastructures in Vietnam



Measurement of Thuan Phuoc bridge

collaboration between Univ. of Danag and Yokohama National Univ.



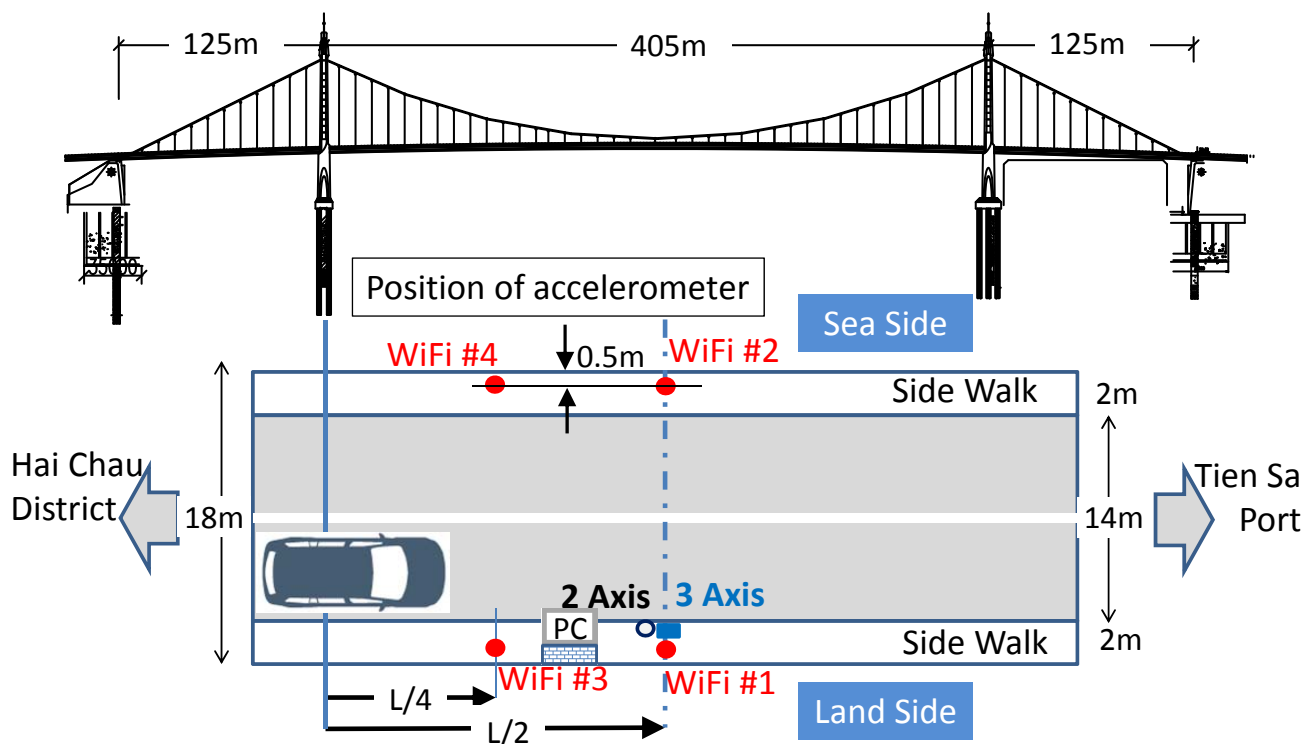
- Thuan Phuoc bridge was designed and constructed by Chinese company.
- Longest suspension bridge in Vietnam located river mouth of Hang in Danang

- It was completed in 2009 but since 2011 was closed for heavy truck.
- Severely damaged asphalt pavement



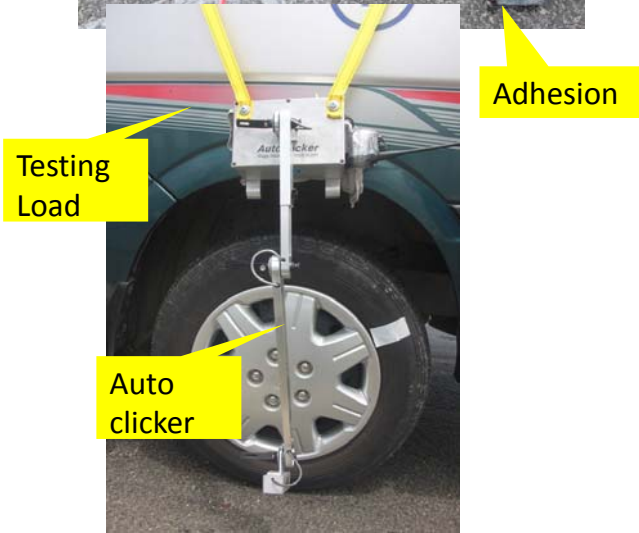
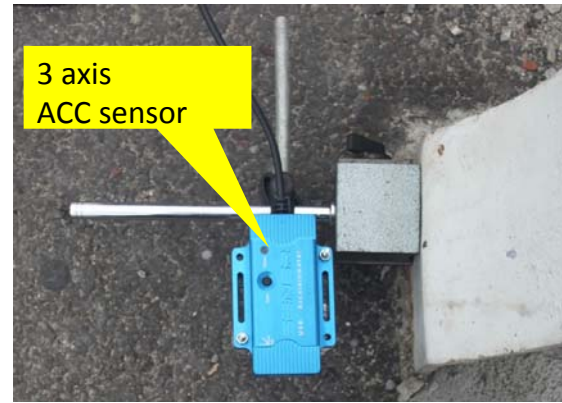
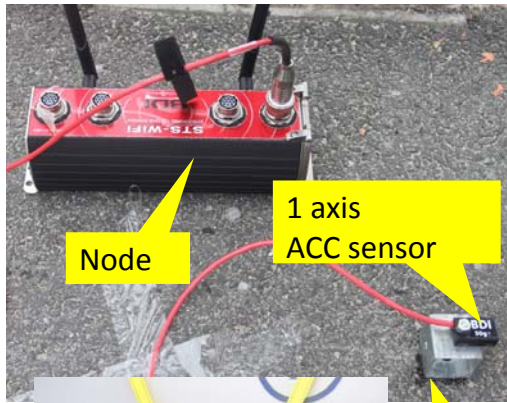
Slide 19

• ThuanPhuoc Bridge



Slide22

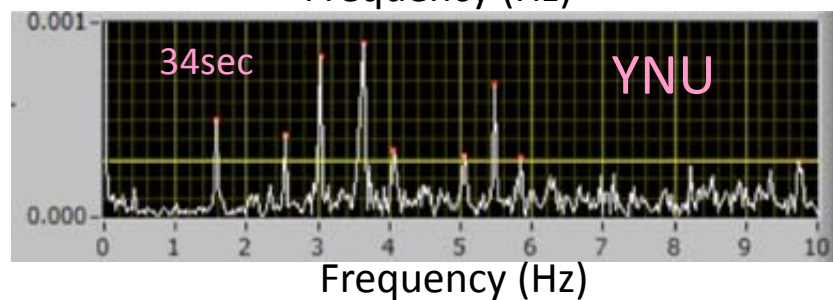
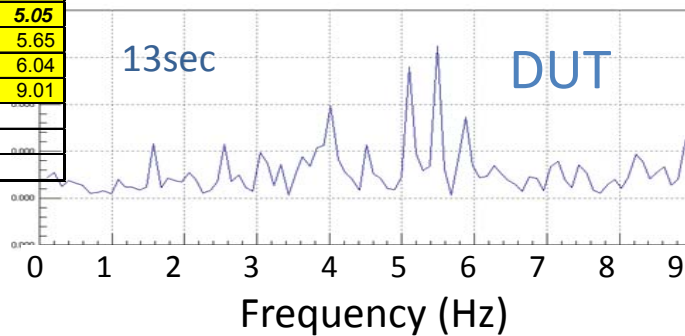
Install equipments



FFT analysis result

	Land Side 1/2	Land Side 1/4	Sea Side 1/2	Sea Side 1/4
1st	1.57	2.54	1.57	2.54
2nd	2.54	2.78	2.54	2.78
3rd	3.02	2.84	3.02	3.36
4th	3.62	3.35	3.62	3.63
5th	4.05	3.63	3.99	4.32
6th	5.04	4.08	4.05	4.78
7th	5.47	4.29	5.05	5.05
8th	5.83	4.78	5.50	5.65
9th		5.05	5.84	6.04
10th		5.47	6.95	9.01
11th		5.65	8.22	
12th		6.05		
13th		9.01		

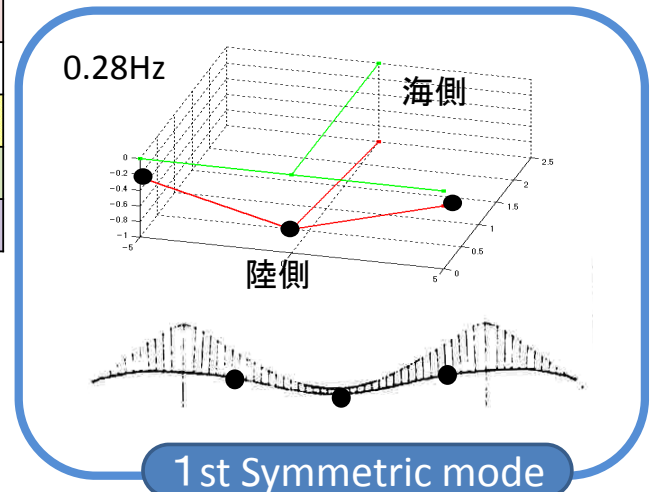
ダナン大と横国大の解析結果
8次までほぼ一致



精度の良い計測には
30秒程度の自由振動
が必要
⇒交通規制

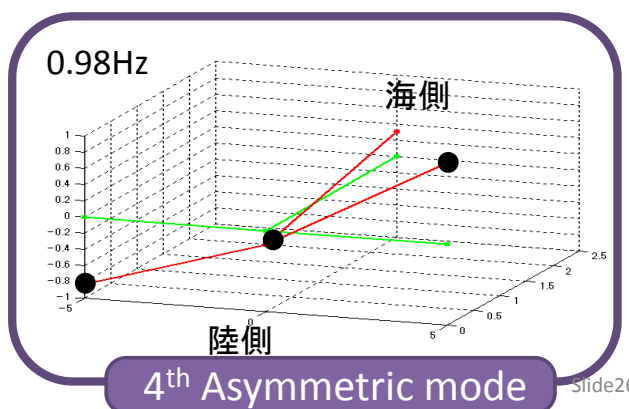
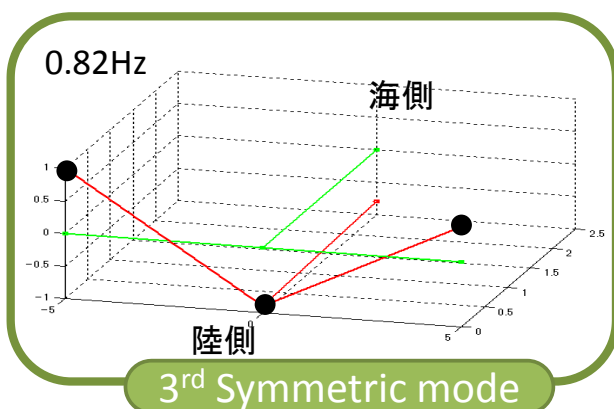
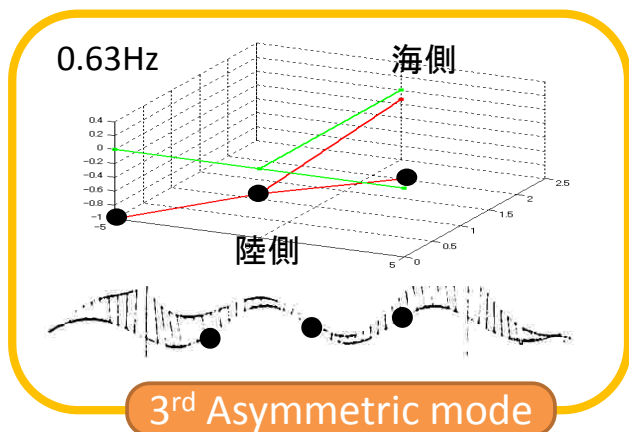
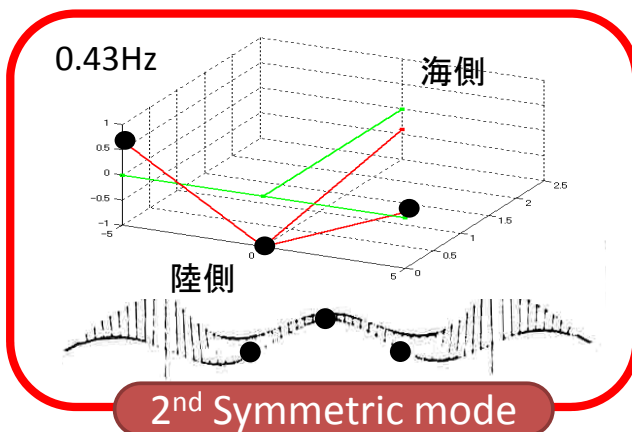
Comparison of Eigen Frequency and Mode FFT, ERA and FEA (in design doc.)

	Eigen Frequency (Hz)		
	ERA	FFT	Design Documents
1 st Sym.	0.28	0.28	0.25
	(Swing)		0.37
2 nd Sym.	0.43	0.43	0.43
			0.59
3 rd Asym.	0.63		0.61
3 rd Sym.	0.82	0.83	0.81
4 th Asym.	0.98		1.02



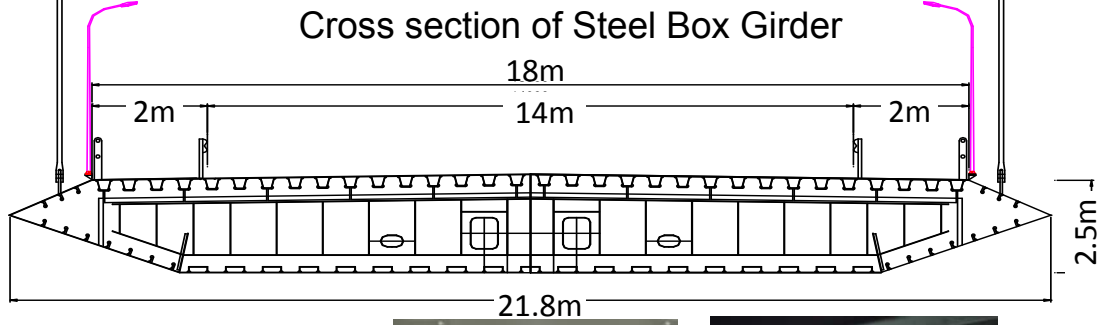
Slide25

Comparison of Mode Shapes



Slide26

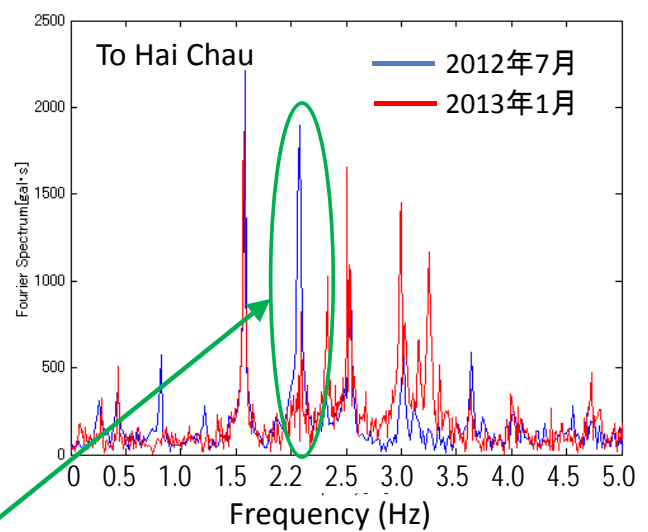
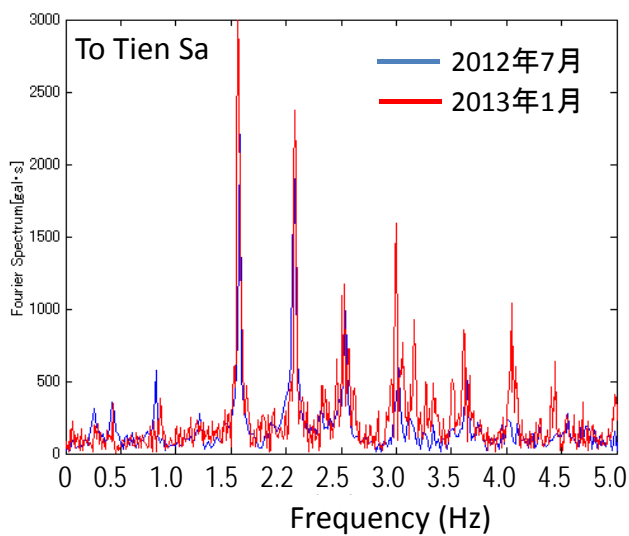
Check Box Girder from inside



Structure and Welding are not bad

Slide 27

Comparison between 2012.7 and 2013.1

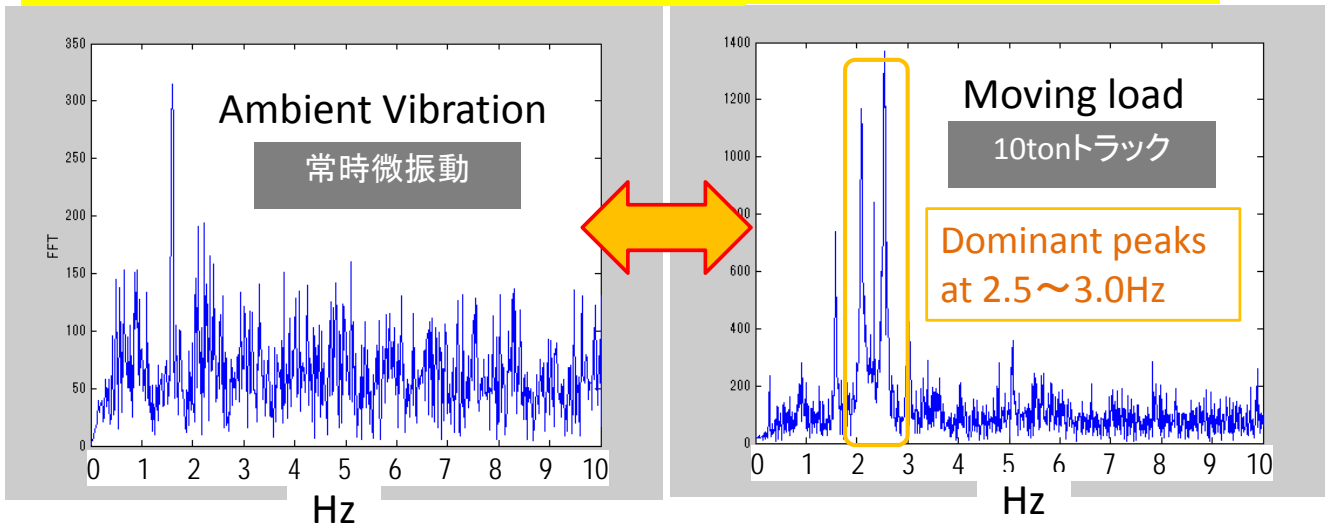


Some change was found out in 2.2 – 2.5 Hz frequency band

Slide 28

From Results of Vibration Measurement

Typical long span suspension bridge has dominant eigen frequency around 0.1 -0.2 Hz Other major modes are < 1 Hz

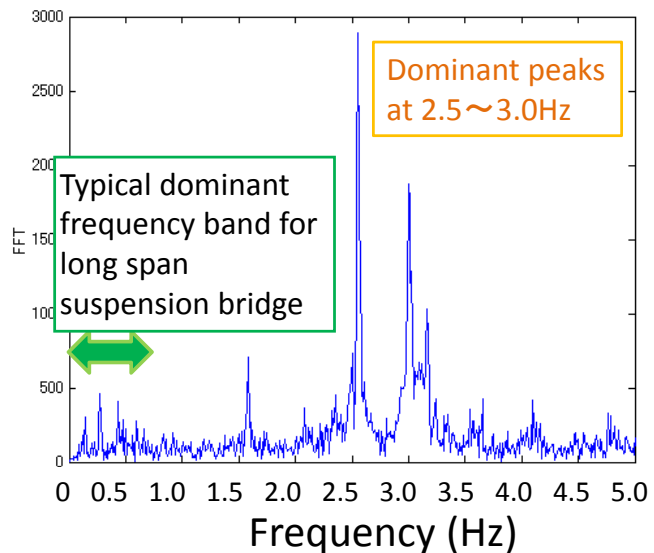


Dominant peaks appear in Moving Load (Vehicle Excitation) condition. These peaks are not observed in Ambient Vibration.

Slide 29

Assessment and Proposal

Vehicle Excitation by Rough Road Surface



Before repair of pavement

After repair of pavement

Check difference by Vibration Measurement

Slide 30

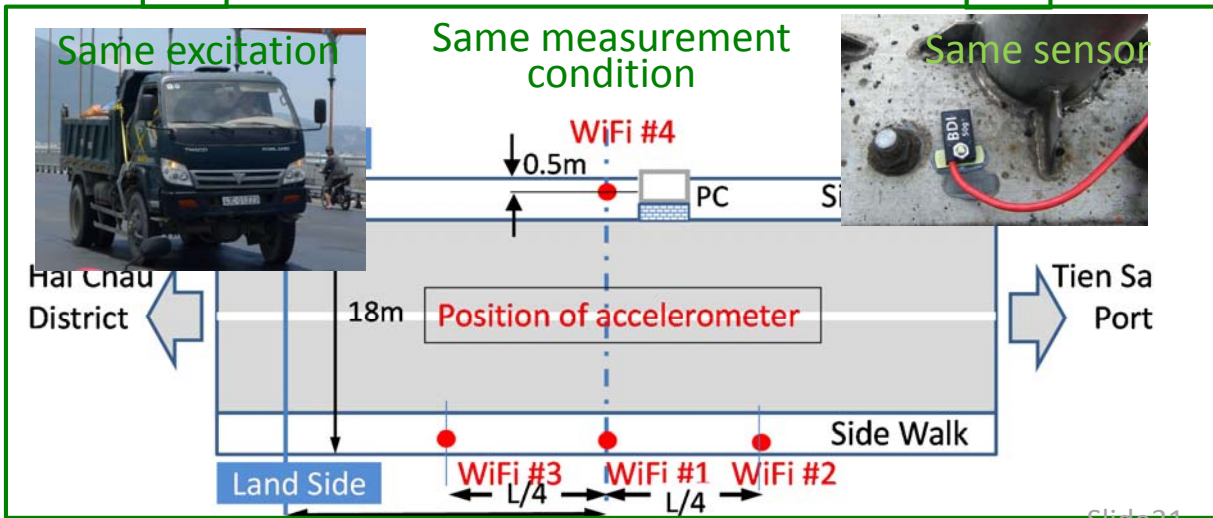
Pavement Repair and Measurements

July		August				
14	21	28	4	11	18	

2013 July 16th
3rd Measurement

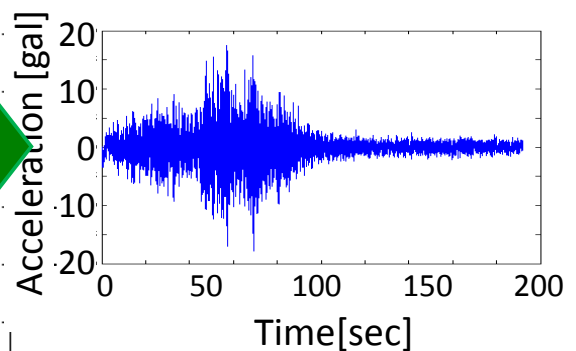
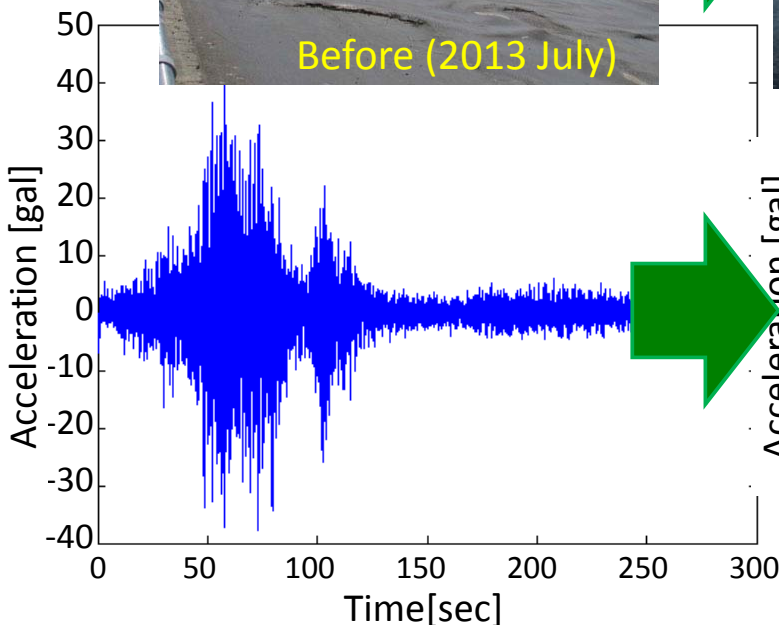
Pavement Repair
Beginning of August

2013 August 14th
4th Measurement



Slide 31

Acceleration at Center of the Bridge

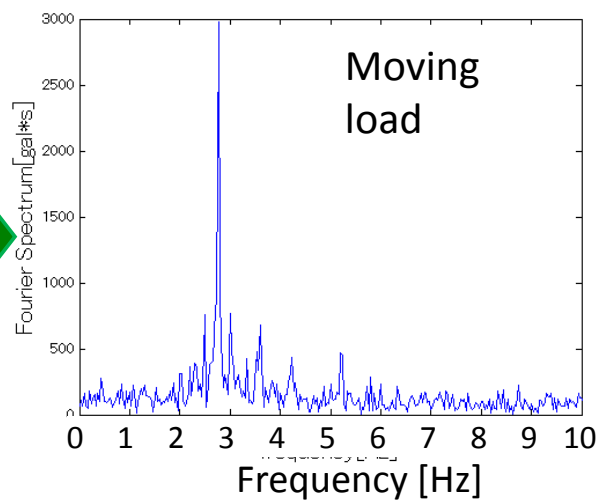
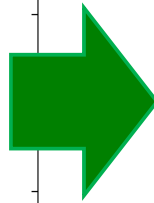
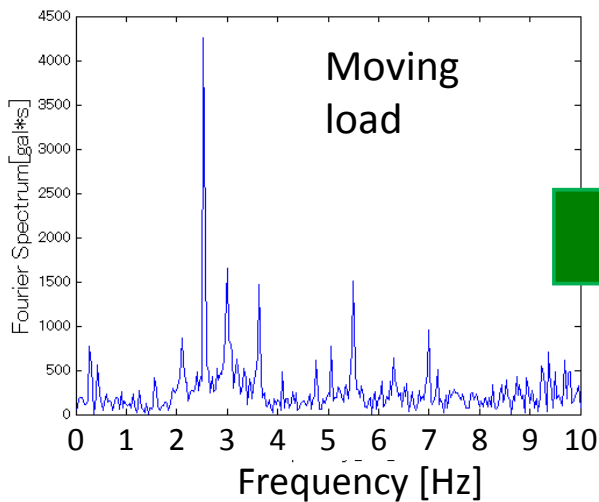


Slide 32

FFT results at Center of the Bridge

Before (2013 July)

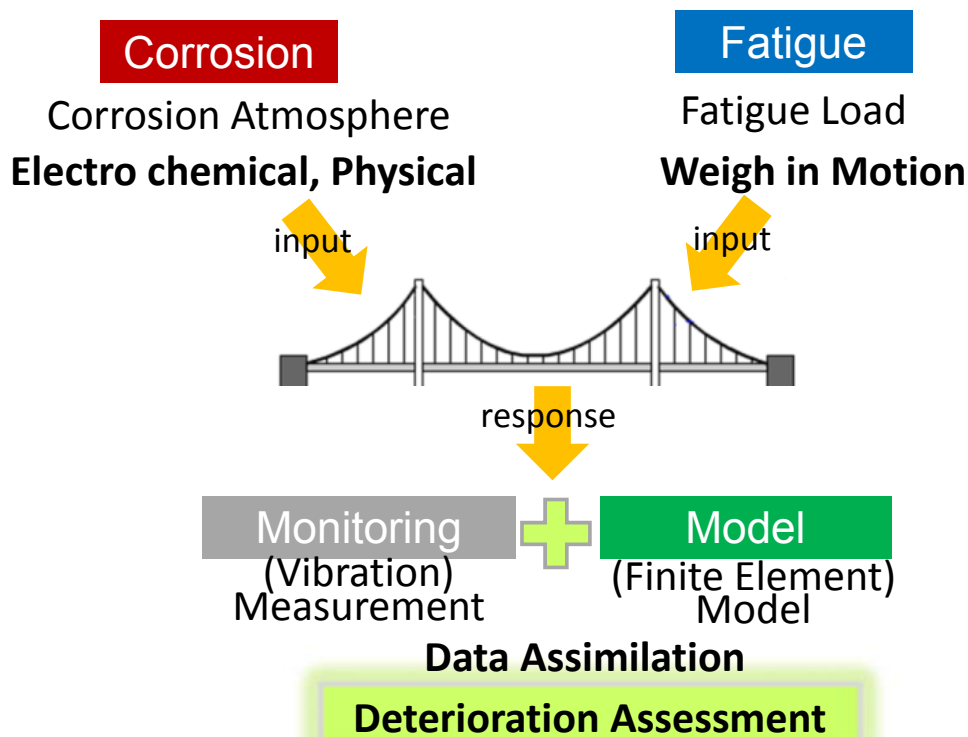
After (2013 August)



Before repair there are many dominant peaks.
After repair only one peak is dominant.

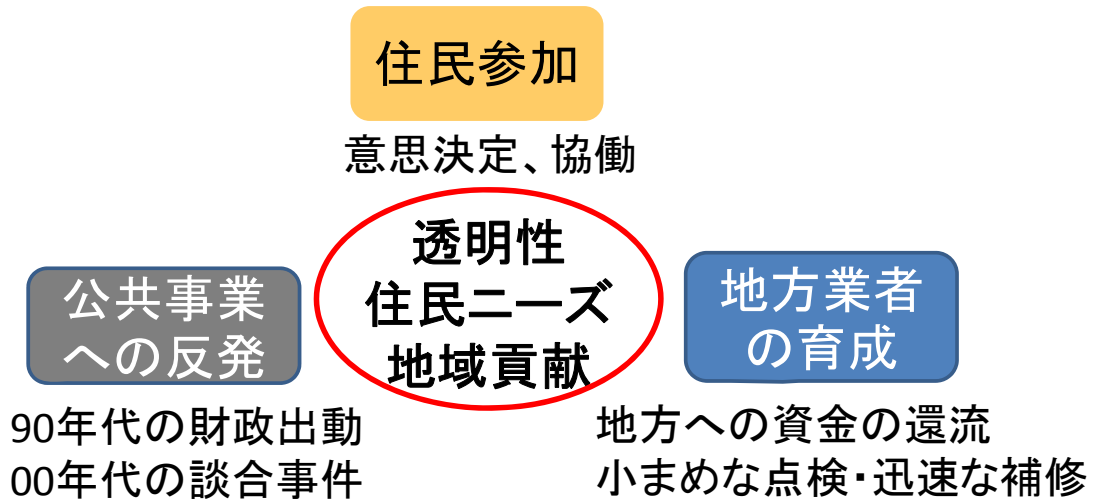
Slide 33

Prognostic Health Monitoring



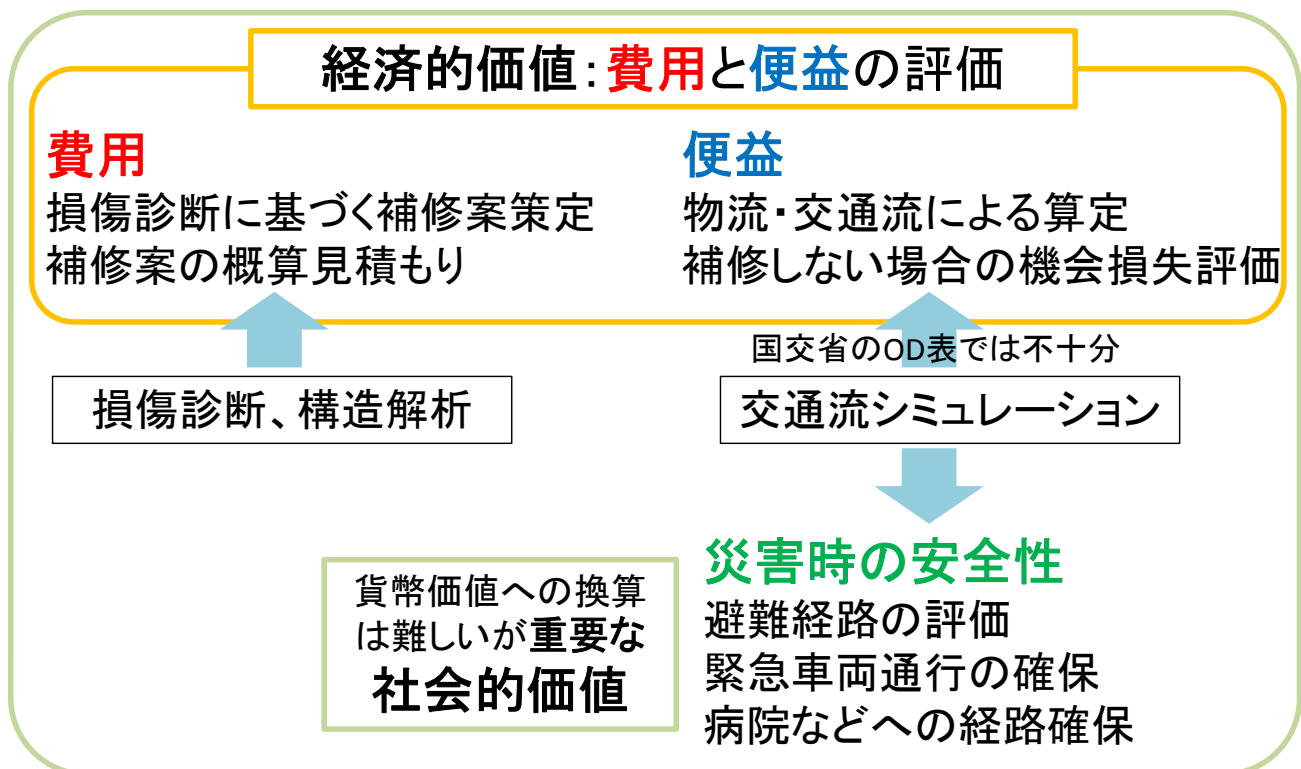
Slide 34

公共事業と社会インフラ整備



Slide 36

経済的・社会的価値の評価



Slide 37