

# Ⅰ 研究要旨

## 目次

<LCAワーキング研究要旨>	
CO2発生量に着目した鋼橋の環境負荷-----	1- 1
<騒音ワーキング研究要旨>	
鋼橋架設時の騒音測定-----	1- 9
<環境に優しい鋼橋ワーキング研究要旨>	
環境に優しい鋼橋の提案-----	1-17

# CO<sub>2</sub>発生量に着目した鋼橋の環境負荷

## Environmental Impact of Steel Bridges Considering CO<sub>2</sub> Emission

Environmental impact of steel bridges has been studied from a viewpoint of CO<sub>2</sub> emission. Unit amount of CO<sub>2</sub> emission has been obtained when steel bridges are fabricated and erected by analyzing each process. A steel two I-girder bridge is advantageous compared with a four I-girder bridge, and a steel box girder with orthotropic deck is not inferior to a four I-girder bridge considering its long span. Total emission of CO<sub>2</sub> depends mostly on steel and concrete materials and the fabrication and erection processes affects insignificantly. Steel members can be recycled as the electric furnace steel that produces only one-third CO<sub>2</sub> of the blast furnace steel. The total CO<sub>2</sub> emission would decrease 20-30% during the bridge life of 50 years, if all steel members are recycled.

**Key Words :** *CO<sub>2</sub> emission, environmental impact, steel bridges, recycle, bridge life*

CO<sub>2</sub>発生量, 環境負荷, 鋼橋, リサイクル, 橋梁寿命

### 1. はじめに

21世紀においては、あらゆる生産活動は「環境への配慮」を無視してはありえない。鋼橋も例外ではなく、環境問題への積極的な取り組みが重要であると考えられる。とくに、地球温暖化は、人の活動に伴って発生する温室効果ガス（二酸化炭素、メタンなど6物質）により、地表および大気の色度が上昇し、生態系や気象に深刻な影響をおよぼす重要な問題である。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)では、このままの状況が続けば、100年後には平均気温が2℃上昇し、海面が50cm上昇すると予測しており、生物・水資源・食料生産・洪水・高潮・健康などの分野で大きな影響が懸念される。

この地球温暖化問題に対処するため、先進国の温室効果ガスの排出量に関し、法的拘束力のある数値目標を盛り込んだ「京都議定書」が採択され、我が国においては「温室効果ガスの総排出量を2012年までに1990年レベルから6%削減する」との目標が定められた。

橋梁の環境負荷については、土木学会の環境負荷評価(LCA)委員会<sup>1)</sup>や伊藤義人ら<sup>2)</sup>により研究されてい

る。数種類の橋梁形式について、それを建設するに要するエネルギー消費量と二酸化炭素排出量を比較している。これによれば、エネルギー消費量、二酸化炭素排出量、工費のいずれにおいても、鋼橋はPC橋と比較してやや劣っているとされている。比強度の関係があり、この比較のみから単純に鋼橋が不利とは言えないが、鋼橋の環境負荷は少なくないと言える。

鋼橋の環境負荷を評価するためには、建設時の材料・製作・施工のみならず、完成後の維持管理・補修、さらには撤去およびリサイクルを考慮したライフサイクルにおける環境負荷、すなわちLCA(Life Cycle Assessment)を実施しなければならない。LCAは、目的及び調査範囲の設定、インベントリ分析、影響評価、解釈の4つの段階で行うものであり、その手法はISO14040に規定されている。伊藤らの研究<sup>3)</sup>によれば、部材劣化がやや早い場合には、完成後の維持管理・撤去に関する環境負荷は建設時に匹敵するほどである。さらに、伊藤らはミニマムメンテナンス橋および主鋼I桁を適用する方が使用鋼材も少なく、環境負荷も小さいことを見出している<sup>4)</sup>。

しかし、既存の研究においては主に使用材料のみに着目しており、工場製作や現場施工に伴う環境負荷は

十分には考慮されていない。本研究では、鋼橋の工場製作および現場施工の作業を分析し、各プロセスにおけるCO<sub>2</sub>発生量を算出する。また、橋梁形式については、少主桁および多主桁鋼I桁の比較、および床版形式に着目しコンクリート床版と鋼床版箱桁の比較を実施する。さらに、鋼橋は鋼材のスクラップが電炉材として再利用できるためリサイクルが可能である。そこで、リサイクルを考慮した鋼橋のライフサイクルにおける環境負荷についても考察する。

## 2. モデル橋

本研究では、図-1、図-2、図-3 に示す3種類の橋梁をモデル橋として発生するCO<sub>2</sub>量を把握する。モデル橋Aは4主桁の鋼I桁であり、現場添接位置で断面変

化させるなど加工量を抑えた合理化桁である。モデル橋Bは2主桁の鋼I桁であり、モデル橋Cは鋼床版箱桁である。これらの橋梁諸元は実際に建設された橋梁に基づいている。

下部工は、高さ15mのRC橋脚および厚さ2mのフーチングで構成されると想定した。橋軸方向のRC橋脚幅およびフーチング幅は、スパンに応じて変化させた。

これら3橋の主な構造諸元および数量を表-1に示す。モデルA橋はRC床版を、モデルB橋は横締めPC床版を用いているが、モデルC橋は鋼床版であるためコンクリート量が少ない。また、モデルC橋は鋼床版箱桁橋で、しかも最大スパンが長いと単位橋面積あたりの鋼重・溶接延長・塗装面積が大きい。

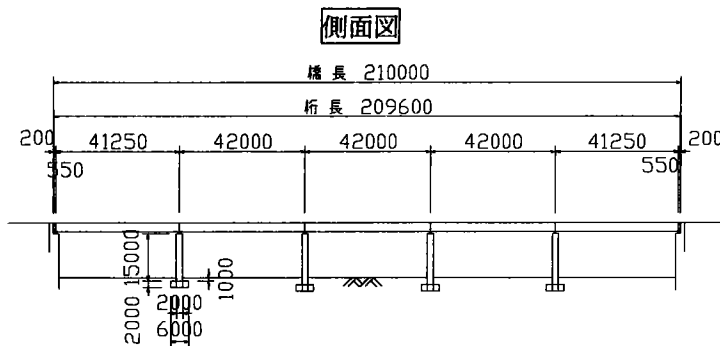


図-1 モデルA橋

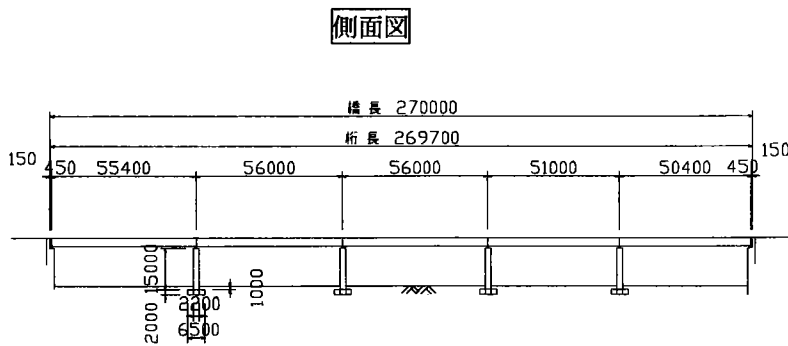
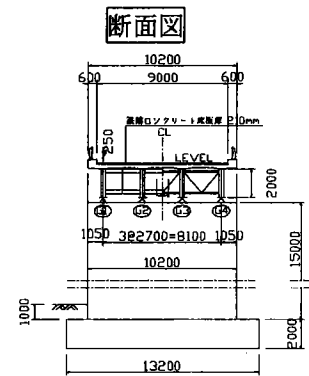


図-2 モデルB橋

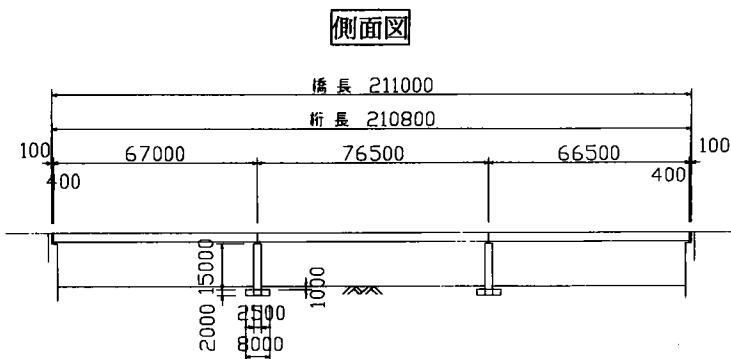
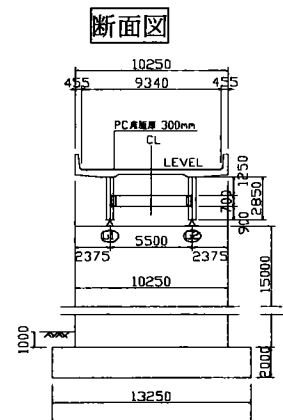


図-3 モデルC橋

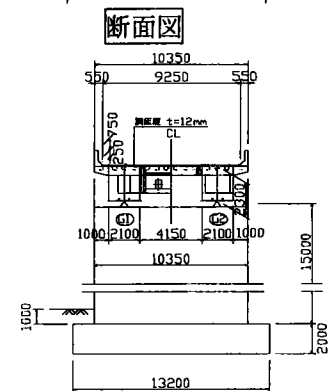


表-1 モデル橋の主要諸元および数量

	単位	モデル A	モデル B	モデル C
最大スパン	m	42.0	56.0	76.5
橋面積	m <sup>2</sup>	2,142	2,768	2,161
鋼重	tf	480	620	892
単位橋面積あたりの鋼重	kgf/m <sup>2</sup>	224	224	413
鉄筋	tf	146	88	16
コンクリート	m <sup>3</sup>	613	1,062	144
アスファルト	m <sup>2</sup>	151	189	147
溶接延長	m	10,070	11,350	30,300
切断長	m	12,898	20,104	33,997
ボルト孔	個	81,756	30,948	160,148
塗装面積	m <sup>2</sup>	7,000	5,760	18,590
下部工コンクリート	m <sup>3</sup>	1,858	2,042	1,187

### 3. 各プロセスにおける原単位

本章では、製作および架設、さらには解体作業にかかわる単位数量あたりのCO<sub>2</sub>発生量、すなわち原単位を算出する。各プロセスを分析し、そのプロセスの原単位を算出したが、材料、電気、燃料などの原単位は土木学会の推奨値<sup>1)</sup>を用いた。なお、本論文で説明されていない詳細な数値根拠については参考文献7)を参照されたい。

#### 3.1 材料

鋼材の原単位は、鋼材生産時の土木学会原単位(0.411kgC/kg)に、製鉄メーカーから橋梁加工工場までの輸送に対するCO<sub>2</sub>の発生量を加える。輸送距離は100kmと想定し、燃料消費量、トレーラーの消費費、排気ガスを加えた。燃料消費の原単位は参考文献5)により、排気ガスに関する原単位は参考文献6)によった。

コンクリートの原単位は84.9kgC/m<sup>3</sup>とし、アスファルト舗装の原単位は0.0113kgC/kgとした。また、リサイクルを検討する際の電炉材の原単位は0.128kgC/kgとした。いずれも土木学会の値である。

#### 3.2 溶接

溶接による原単位は、脚長6mmのすみ肉溶接を1m行う場合のCO<sub>2</sub>の発生量とする。ここでは、手溶接、半自動CO<sub>2</sub>溶接、サブマージアーク自動溶接の3種類の溶接方法に対してそれぞれ算出を行った。原単位の算出にあたっては、溶接材料によるもの、溶接施工時のCO<sub>2</sub>の発生量、溶接機の消費電力を加算した。

溶接施工時におけるCO<sub>2</sub>の発生量の算出には、心線の溶融による量は無視し、被覆材およびフラックスに

含まれるCaCO<sub>3</sub>が分解するときに発生するCO<sub>2</sub>を推定した。なお、橋梁製作会社により使用する溶接法が異なるため、モデル橋のCO<sub>2</sub>発生量については、6mmすみ肉溶接に換算した溶接延長に最も一般的な溶接法であるCO<sub>2</sub>半自動溶接法による原単位をかけることにより算出した。

表-2 溶接の原単位(kgC/m)

工程	手溶接	CO <sub>2</sub> 溶接	サブマージアーク溶接
溶接材料	0.140	0.083	0.153
溶接施工	0.006	0.027	0
消費電力	0.110	0.061	0.043
合計	0.256	0.171	0.196

#### 3.3 切断

鋼橋の製作の一部である鋼材の切断については、ガス切断、レーザー切断、プラズマ切断の3種類の方法が用いられることが一般的である。ここでは、主桁のフランジ・ウェブおよび鋼床版デッキプレートにはプラズマ切断が、横桁、横リブ、ダイアフラムなどの小物部材にはレーザー切断が、補剛材や付属物などにはガス切断が用いられると想定した。

CO<sub>2</sub>発生量は、切断作業時に発生する量、切断機に使用される電力、機械そのものの消耗に関する量を合計した。

表-3 切断の原単位(kgC/m)

	ガス切断	レーザー切断	プラズマ切断
切断	0.374	0	0
電力	0.057	0.312	0.143
機械消耗	0.035	0.010	0.009
合計	0.466	0.322	0.152

#### 3.4 孔明け

ボルト孔には、付属物などを接合するための普通ボルト用の孔と主構造本体を接合するための高力ボルト用の孔がある。ここでは孔明け作業に際して、普通ボルト用の孔はボール盤による手穿孔、高力ボルト用の孔はNC穿孔機による自動穿孔とした。

原単位の算出には、穿孔作業に要する電力消費量と機械の消耗に伴う原単位を合計した。

表-4 孔あけの原単位(kgC/個)

穿孔器具	部材	孔明け(kgC/個)	機械消耗(kgC/kg)
ボール盤	付属物	0.00042	1.21
	本体	0.03628	1.21
NC穿孔機	添接板	0.00645	1.21

### 3.5 運搬・移動

工場内での部材の運搬・移動では、トレーラー(20tf)およびクレーン(20tf)による稼働状況を想定し、CO<sub>2</sub>の発生量を算出した。発生要因としては、燃料および電力消費量、機械消耗に関する量を考慮した。なお、機械類の耐用年数は10年とし、稼働日数は200日/年とした。

### 3.6 仮組立

仮組立に関しては、クレーンによる部材の運搬、ボルトの仮締め作業を考慮した。ボルト締め付け作業は電動工具を使用する。この際、インパクトレンチの締め付け能力は2,700本/日と想定した。これらの作業に伴う電力消費および機械消耗の2つの要因を加算し原単位とした。

### 3.7 塗装

塗装仕様は、鋼道路橋塗装便覧のC-2塗装系、すなわち工場にて上塗りまで施工する仕様を想定した。塗料の原単位は0.452kgC/kgとし、これを使用塗料量に乗じて発生量を算出する。

さらに、塗料生産所から加工工場までを200kmと想定し、運搬に伴う発生量も加算した。

### 3.8 桁架設

加工工場から架設現場までは400kmと想定して、部材の輸送に伴う発生量を算定した。

現場での施工法はベント架設を想定し、架設クレーンの稼働時の発生量、ベント材料とその輸送時の発生量、現場溶接時の発生量、高力ボルト締め時の発生量、現場塗装作業時の発生量を合計した。

### 3.9 橋面工

床版および地覆のコンクリートおよび鉄筋材料の原単位、鉄筋・コンクリート・型枠材料の輸送時の排出量、アジテータ車およびポンプ車の作業時および輸送時の発生量を合計した。

さらに、舗装アスファルトの材料の原単位、アスファルトフィニッシャーおよびロードローラの作業時および輸送時の発生量を考慮した。

### 3.10 下部工

下部工形状は図-1、図-2、図-3に示すとおりと想定した。

原単位は、土木学会の環境負荷(LCA)委員会<sup>1)</sup>においてコンクリート、型枠、鉄筋、足場工、支保工、土留工、掘削、埋戻しを考慮したCO<sub>2</sub>発生量をコンクリートm<sup>3</sup>あたりで割り戻した値である148kgC/m<sup>3</sup>とした。

### 3.11 解体撤去

床版および桁本体の解体に要する高所作業車およびクレーンの稼働時および輸送時の発生量、足場材料およびその輸送、撤去物の輸送時の発生量を考慮した。

### 3.12 リサイクル

リサイクルの低減効果は、解体後のスクラップが電炉材として再利用されるものとし、次式の考え方に基づきCO<sub>2</sub>の低減量を負の値として考慮した。

CO<sub>2</sub>の低減量=リサイクル重量

×(高炉材の原単位-電炉材の原単位)

## 4. 建設時のCO<sub>2</sub>発生量

モデル橋の材料および作業プロセスを定量化し、前章で示した原単位をそれらに乗じることにより算出した建設時に発生するCO<sub>2</sub>を表-5に示す。

総発生量を橋面積あたりで除した値を図-4に示す。上下部合計では、モデルA橋(4主桁橋)を1.0とすると、モデルB橋(2主桁橋)では0.91となり、モデルC橋(鋼床版箱桁)では1.05となる。上部工のみに着目すると、この順序は変わらないが、モデルC橋の発生比率が大きい。

しかし、3つのモデル橋は最大スパンが異なるため、このままでは橋梁形式を公平に比較できない。そこで、モデルB橋とモデルC橋の最大スパンを、モデルA橋の最大スパン42mに合わせたときの数値を推定する。すなわち、下部工の数量は3橋ともモデルA橋と同一とし、上部工の数量はモデルB橋とモデルC橋の最大スパンがモデルA橋の最大スパンに逆比例すると仮定する。

これを示したのが図-5である。上下部全体では、モデルBの2主桁が4主桁より17%低く、鋼床版橋も4主桁より18%低い。上部工のみでは、モデルBの2主桁が4主桁より28%低く、鋼床版橋も4主桁より29%低い。したがって、少数主桁橋が有利であること、長いスパンが必要な場合に用いられる鋼床版橋も必ずしも4主桁に劣るとは言えないことが理解できる。

以下、表-5の結果をさらに細かく分析する。上部工と下部工の比率を図-6に示す。モデルA橋とモデルB橋では下部工の占める割合が約1/3であるが、橋脚数の少ないモデルC橋では下部工は約1/4である。

上部工に関し、工場製作と現場施工の比率を図-7に示す。モデルA橋とモデルB橋では工場製作の占める割合が約1/2であるが、鋼床版を用いるモデルC橋では工場製作は約3/4である。

工場製作に係わる各プロセスの比率を図-8に示す。3橋とも、鋼材(材料)の占める割合が圧倒的に高く85-90%を占める。したがって、加工工場における発生

量はきわめて低く、CO<sub>2</sub>発生に関しては橋梁加工は環境に優しい産業であると言える。

現場施工に係わる各プロセスの比率を図-9に示す。モデルA橋とモデルB橋では床版・地覆が約1/2を占

め支配的であり、輸送・橋面工・桁架設がそれぞれ15%程度を占める。一方、モデルC橋では輸送と架設の占める割合が高い。

表-5 単位面積あたりの建設時のCO<sub>2</sub>発生量 (kgC/m<sup>2</sup>)

項目	内容	モデルA橋	モデルB橋	モデルC橋	
		工場製作	92.1	92.1	169.6
上部工	材料	92.1	92.1	169.6	
	材料輸送	5.7	5.7	10.6	
	塗装	3.1	2.0	7.8	
	切断	2.0	1.9	5.3	
	溶接	0.8	0.7	2.4	
	穿孔	0.8	0.2	1.9	
	工場内運搬	0.1	0.1	0.1	
	仮組	0.0	0.0	0.0	
	小計	104.6	102.7	197.8	
	現場施工	輸送	17.0	17.5	31.5
		架設	16.9	16.7	30.9
		橋面工輸送	15.8	16.9	0.5
		床版・地覆	52.3	45.6	8.7
		舗装	3.4	3.3	3.3
小計		105.4	100.1	74.9	
上部工合計		210.0	202.8	272.7	
下部工合計		128.3	109.2	81.3	
上・下部工合計		338.4	312.0	354.0	

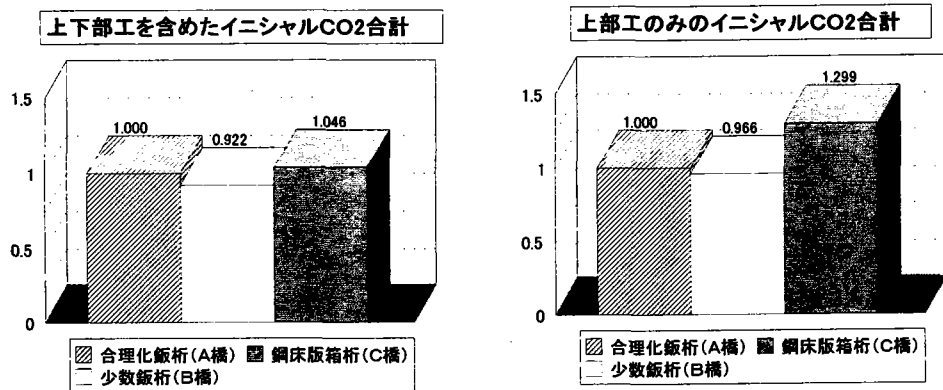


図-4 橋面積あたりのCO<sub>2</sub>発生量

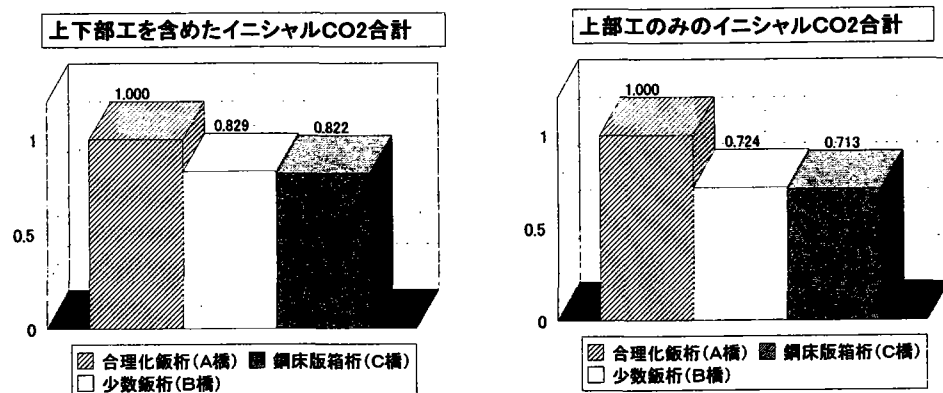


図-5 最大スパン長を考慮した橋面積あたりのCO<sub>2</sub>発生量

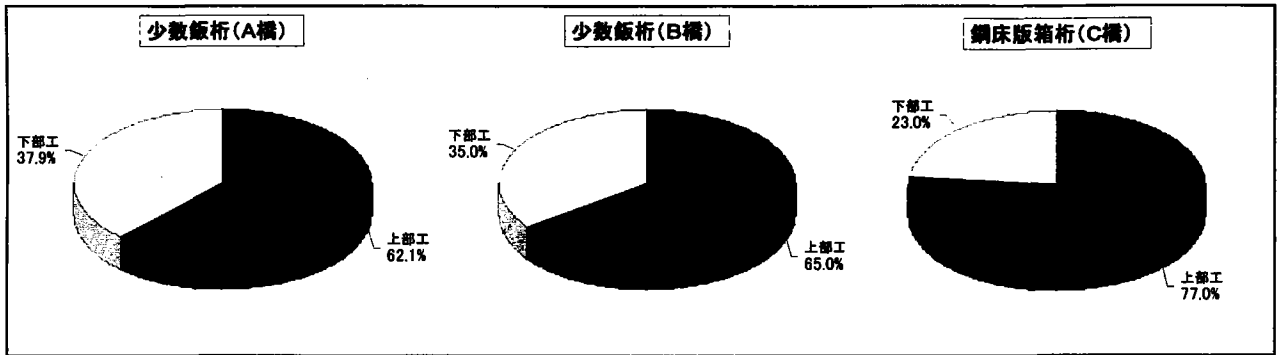


図-6 上部と下部の比率

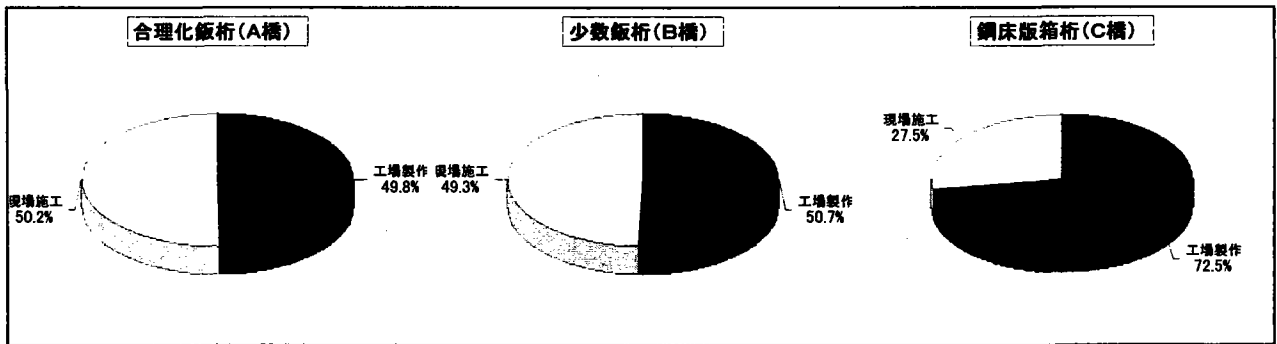


図-7 工場製作と現場施工の比率

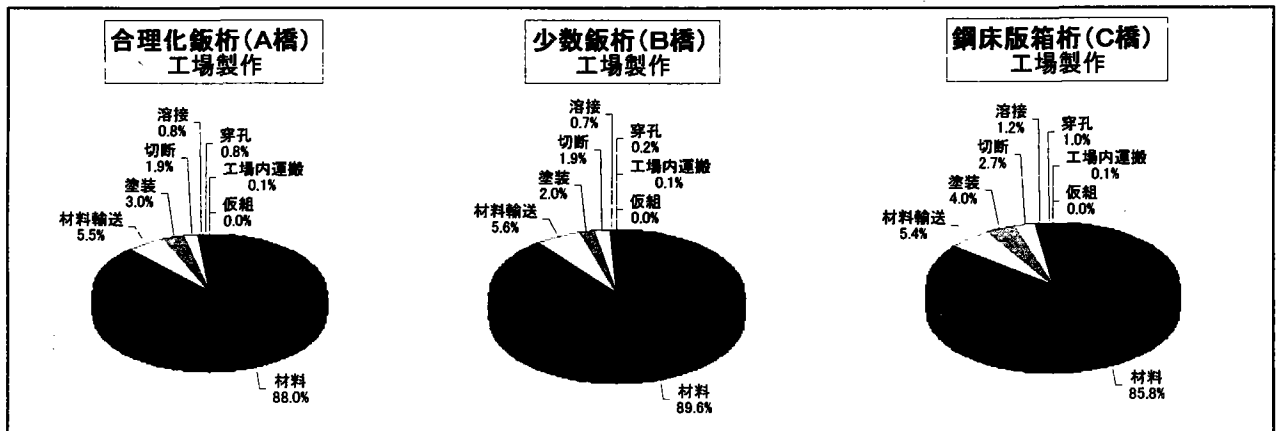


図-8 工場製作の内訳

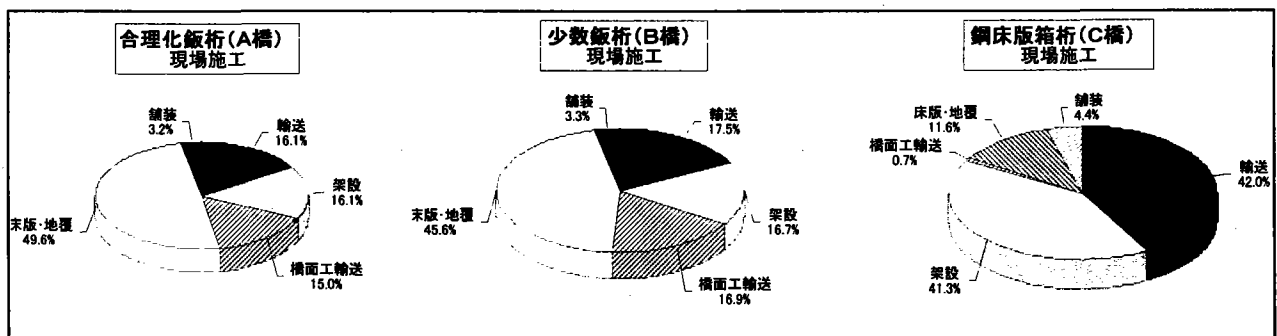


図-9 現場施工の内訳

## 5. ライフサイクルにおけるCO<sub>2</sub>発生量

鋼橋の利点は、リサイクルが可能であることである。橋を架け替える場合、橋そのものを改造し再利用することができる。また、解体する場合にも、鋼材は電炉材料として再利用できる。しかも、電炉材のCO<sub>2</sub>排出量は、高炉材の約30%と環境負荷の低い材料である。このように、コンクリートが廃棄物として処理されることに対し、鋼材はリサイクル性の高い材料と言える。

そこで、50年を橋の寿命と想定し、ライフサイクルでのCO<sub>2</sub>発生量を把握した。この期間に、2回の塗装塗り替え、2回のアスファルト補修を想定した。床版の補修または打ち換えはないとした。

表-6に単位面積あたりの維持管理、解体工事、リサイクルに関する発生CO<sub>2</sub>量を示す。鋼板はスクラップとして100%利用し、次世代の橋梁に電炉材として再使用されるものとした。これによれば、合計数値はい

ずれも負になり、ライフサイクルとして見た場合には鋼材のリサイクルが鋼橋のCO<sub>2</sub>発生による負荷を大幅に軽減することがわかる。

建設時、維持管理および解体工事の発生量の比率を図-10に示す。ライフサイクルを50年と短く設定したため、今回の試算では、建設時が支配的となっている。

維持管理に関し、その内訳を図-11に示す。舗装補修が70-80%以上を占め支配的である。しかし、モデルC橋では、塗装の塗り替えの比率が他のモデル橋に比較して高い。

リサイクルの効果を図-12に示す。いずれの橋も、ライフサイクルでのCO<sub>2</sub>発生量は、リサイクルを考慮すれば20%程度低くなる。とくに、鋼材を多く使うモデルC橋では30%程度の効果がある。

表-6 単位面積あたり維持管理・解体工事・リサイクルに関するCO<sub>2</sub>発生量 (kgC/m<sup>2</sup>)

項目	内容	モデルA橋	モデルB橋	モデルC橋
維持管理	塗装塗替 (2回)	2.4	3.1	5.5
	舗装補修 (2回)	14.2	14.1	14.1
解体工事	床版撤去	17.5	22.6	3.8
	桁・付属物撤去	20.3	18.6	36.0
リサイクル	床版鉄筋	-19.3	-9.0	0.0
	桁・付属物	-63.9	-64.4	-116.8
合計		-28.8	-15.0	-57.4

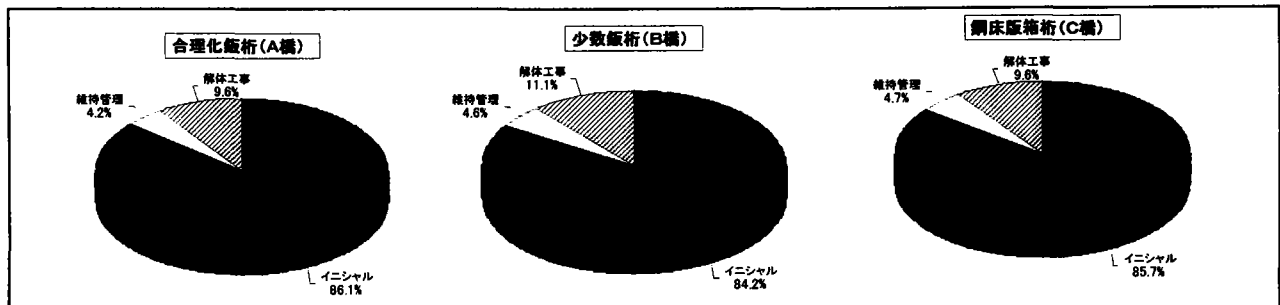


図-10 建設時・維持管理・解体工事の比率

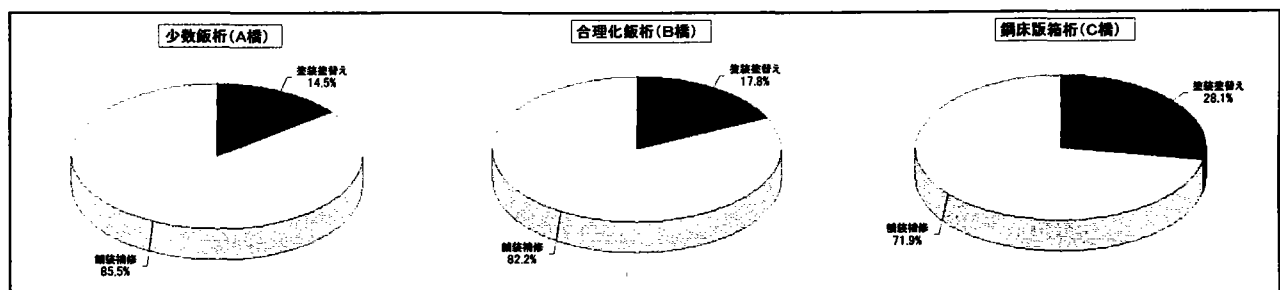


図-11 維持管理の内訳



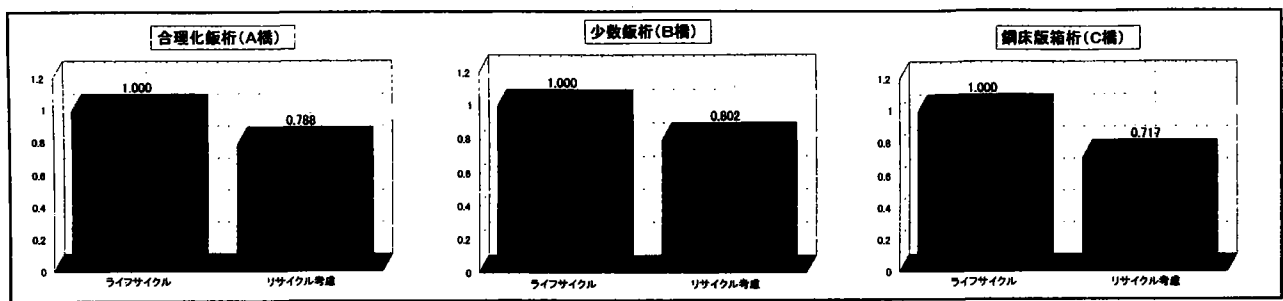


図-12 リサイクルの効果

## 6. まとめ

本論文では、CO<sub>2</sub>の発生量に着目した鋼橋の環境負荷について研究した。得られた主な成果は以下である。

- 1) 製作および架設作業を分析し、これらのプロセスにおけるCO<sub>2</sub>の発生原単位を算出した。
- 2) 3種類の橋梁形式についてCO<sub>2</sub>発生量を算出した。4主鋼I桁に比較し、2主鋼I桁の方がCO<sub>2</sub>の発生量が少ないこと、また、最大スパンを考慮すれば鋼床版箱桁のCO<sub>2</sub>の発生量は必ずしも多くはないことを見出した。
- 3) 鋼材およびコンクリートのCO<sub>2</sub>発生量が支配的であり、鋼橋製作および架設作業にかかわるCO<sub>2</sub>発生量の比率は低いことを見出した。
- 4) 鋼橋の寿命を50年として、ライフサイクルでのCO<sub>2</sub>発生量を算出した。鋼橋を撤去する際、解体された鋼材は電炉材として再利用したが、リサイクルを考慮しない場合よりCO<sub>2</sub>の発生量を20-30%低減できることを見出した。

鋼橋のCO<sub>2</sub>発生量を抑制するために望まれる方策を以下に示す

- 1) 使用材料はなるべく少なくする。すなわち、少数主桁の採用、長支間化による下部工材料の低減、材料の高強度化、材料最小化設計などである。
- 2) 各生産過程の省エネルギー化やCO<sub>2</sub>発生量の抑制を図る。すなわち、低燃料や低排気ガスの工場設備および輸送車両、運搬距離の最短化、ISO 14001等の環境マネジメントの導入などである。
- 3) 維持管理が少なく長寿命化に有利な材料や構造を選ぶ。たとえば、省補剛桁、亜鉛メッキ橋、耐候性鋼材の利用、上下部一体構造により伸縮装置や支杓を避ける、などの方策が考えられる。
- 4) 資源のリサイクルを図る。電炉材の利用、コンクリートの再利用、橋そのものの再利用などが考えられ

る。

## 参考文献

- 1) 土木学会地球環境委員会、環境負荷(LCA)評価検討小委員会：土木建設業における環境負荷評価(LCA)検討部会、平成7年度調査研究報告書。
- 2) 伊藤義人ら：環境負荷を考慮した橋梁形式選定支援システムの作成と利用に関する研究、土木学会論文集、No.553/VI-33、187-199、1996。
- 3) 伊藤義人ら：地球環境負荷削減のための橋梁ライフサイクル評価に関する研究、構造工学論文集、Vol.45A、1295-1305、1999。
- 4) 伊藤義人ら：少数主桁橋梁と従来型橋梁のライフサイクル環境負荷とコストの比較研究、構造工学論文集、Vol.46A、1261-1272、2000。
- 5) 日本建設機械課協会：建設機械等損料算定表、建設省建設機械課監修。
- 6) 環境庁地球環境部環境保全対策課地球温暖化対策室：地球温暖化対策の推進に関する法律に基づく地方公共団体の事務及び事業に係わる温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン、1999。
- 7) 鋼橋技術研究会：環境問題部会報告書、2000。

# 鋼橋架設時の騒音測定

## Noise measurement under Steel Bridge Construction

This paper presents the results of noise measurements under steel bridge constructions. Construction process of a steel bridge and expected noises are classified according to the contents of work. The noises under steel bridge constructions are grouped into steady noises and impact noises according to their time characteristics. Frequency characteristic of the noises from crane works and hitting drift pins are obtained. Sound power level of these works are estimated. Furthermore, the methods suppressing the noises are suggested.

**Key Words** :騒音測定, 鋼橋架設工事, 低騒音型工具

*Noise measurement, steel bridge construction, low noise type tools*

### 1. はじめに

環境問題がクローズアップされる近年、建設工事に伴い発生する騒音・振動問題にも大きな関心が寄せられている。特に、杭打ち機等の機械を使用する特定の建設作業から発生する騒音については昭和43年制定の騒音規制法の中で規制されてきた。これに対して、建設省では「建設工事に伴う騒音振動対策技術指針」を昭和51年に策定し、「低騒音型建設機械指定制度」を昭和58年に発足させ、建設作業の低騒音化が図られてきた。

橋梁の架設作業には特定建設作業に該当するものはないが、近年は道路交通事情や住民感情などにより、特に住宅街に隣接する工区では架設工法やその時間帯に大きな制約を受けることとなり、円滑な施工を進める上で騒音に対する配慮は重要なものとなっている。しかし、建設機械騒音については多くのデータが示されている<sup>1)4)</sup>が、橋梁架設に伴って発生する騒音の実態についてほとんど把握されていない。

そこで、本報告では、鋼橋の架設作業を対象に作業内容を分類することによりそこから発生する騒音とその要因を整理し、作業毎に騒音レベルの測定を行った。その結果を踏まえて、代表的な作業騒音について騒音レベルの測定、周波数周波数分析、およびパワーレベルの推定を行った。さらに、騒音抑制型工具(作業)を用いた場合についても測定を行ったので、それらの結果を報告する。

### 2. 鋼橋架設時の騒音の種類

表-1に、一般的な鋼橋を架設する場合の作業内容と作業に伴って発生が予想される騒音の種類を示す。これらの発生音を時間変動パターンから分類する

と、クレーン駆動音のように変動の少ない騒音が一定時間続く定常騒音と、単管パイプのぶつかり音やピン打ち込み音のような衝撃騒音の2種類に大別できることがわかる。

表-1 鋼橋の架設作業と発生騒音

作業項目	発生騒音	作業内容
①部材搬入	・輸送トラックバック警告音 ・吊り金具接触音	・輸送トラックの誘導 ・吊り金具の取付(HTB)
②荷卸	・クレーンエンジンふかし音	・玉掛作業に伴うクレーンの旋回、起伏、巻上げ、巻下げ
③架設準備	・仮ボルト入れ替え時のハンマーによるスパナ打撃音	・添接される(架設済)側の添接板を広げる
④手すり取付	・単管パイプぶつかり音	・スタクション取付 ・手すり取付
⑤ジョイント足場取付	・単管パイプぶつかり音	・足場材料間配り ・足場面組み立て ・桁への取付
⑥主桁架設	・クレーンの駆動音	・主桁部材を設置箇所まで移動 ・クレーンの旋回、起伏、巻上げ、巻下げ
⑧継手作業(ハイドロピン挿入)	・ハンマーによる寄せピンの打ち込み音 ・ナットランナ音(仮ボルト締付け)	・上フランジ、下フランジ、ウェブの順に施工 ・ボルトが通る孔に仮ボルトを数本挿入 ・パイロットホールにハイドロピンを打ち、位置決めを行う ・残りの仮ボルトを挿入し、必要に応じて寄せピンを打つ
⑨高力ボルト本締め	・ナットランナ音(HTB一次締) ・ナットランナ音(仮ボルト外し) ・ピン打撃音(ラバーハンマー) ・ナットランナ音(HTB本締め)	・空いているボルト孔にHTBを挿入し、一次締めを行う ・仮ボルトを外し、HTBに入れ替え一次締めを行う ・ハイドロピンを抜き、HTBに入れ替え一次締めを行う ・本締めを行う

### 3. 鋼橋架設時の騒音レベル測定

#### 3.1 橋梁の概要

測定の対象とした橋梁は、橋長 258.0m、幅員 8.00～10.00m の 4 径間連続鋼非合成箱桁橋で、架設位置は道路計画の関係で住宅街を横断するものである。架設は、トラッククレーンベント工法にて行った。

本橋における騒音抑制対策の特徴を下記に示す。

- (1) 昼間施工であったが、計画・現場施工とも夜間工事と同様に対応を実施した。
- (2) 通常、仮ボルトや高力ボルトの一次締めにはインパクトレンチを使用するが、作業騒音の低いナットランナを使用した。
- (3) ドリフトピンの代わりにハイドロピンを使用した。
- (4) スチールハンマーの代わりにラバーハンマーを使用した。

#### 3.2 測定の概要

図-1 に作業騒音の音源と騒音測定位置を示す。ここでは、表-1 に示した作業項目のうちクレーンによる桁架設作業と継手作業を対象とした。騒音の測定位置は作業ヤードとの敷地境界および敷地境界から約 50m 離れた 1-6、1-7、1-11、1-12 の 4 点である。

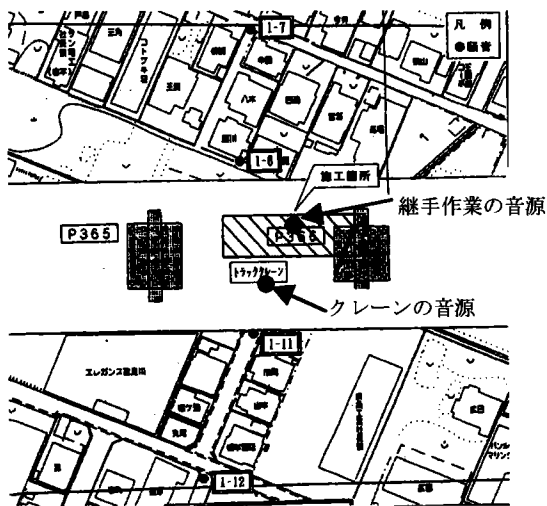


図-1 測定位置図

各測定地点周辺の特徴は以下のようである。

- (1) 測定点 1-6 : 比較的低層住宅が多く存在する。
- (2) 測定点 1-7 : 1-6 と同じ側で生活道路に面しているが、車両の通行は少ない。
- (3) 測定点 1-11 : 1-6 に対し作業ヤードを挟んで反対側で、高層住宅が点在する。
- (4) 測定点 1-12 : 1-11 と同じ側で生活道路に面しており、比較的車両の通行がある。

測定は、普通騒音計 (RION NA-20) を地上 1.2m の高さに設置し、レベルレコーダ (RION LR-04) で

波形を記録した。普通騒音計の周波数補正特性は A 特性、レベルレコーダの動特性は Fast、紙送りは 1mm/s とした。

測定したデータの評価は以下の方法で行った。

- (1) クレーンによる桁架設作業における騒音レベルはクレーン駆動時のレベルとする。
- (2) 継手作業における騒音レベルはピーク値の最大値とする。

#### 3.3 桁架設作業時の騒音測定結果

図-2 に、桁架設作業時のクレーンから発生した音のレベルレコーダの記録を示す。

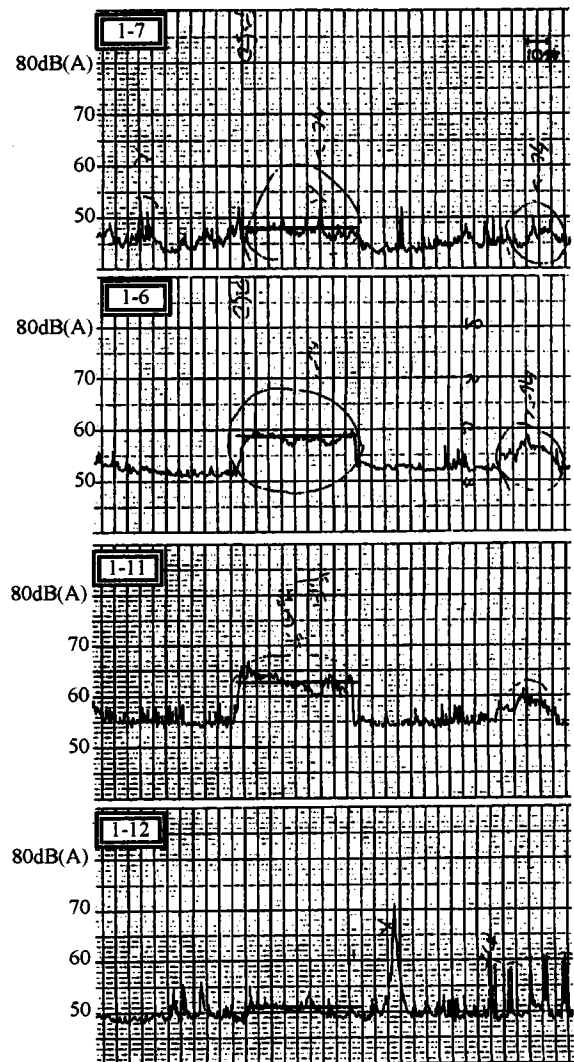


図-2 桁架設作業におけるレベルレコーダ記録

クレーン駆動時の騒音レベルはほとんど変動せずに一定時間続いた増加を示しており、定常騒音となっている。桁架設作業時には、トラッククレーンの待機中のアイドリング音やブームの起伏・旋回、フックの巻き上げ・巻き下げ時のエンジンのふかし音が発生しており、これらの特徴が現れている。

表-2 に各地点における騒音レベルの評価結果を示す。騒音の基準値として、騒音規制法には、「特定

建設作業の場所の敷地の境界において 85dB(A)を超える大きさでないこと」と定められている。トラッククレーンによる桁架設作業は特定建設作業には該当しないが、4地点における騒音レベルの最大値は63dB(A)であり、この基準値を下回っている。

表-2 桁架設作業における騒音レベル

測定地点	騒音レベル (dB(A))	音源との測定地点との距離(m)
1-6	59	32
1-7	48	67
1-11	63	14
1-12	51	55

騒音レベルの距離減衰を表-2より求めると図-3のようになる。騒音レベルとその音源からの距離の関係は、倍距離当たり約6dB(A)の減衰となっている。

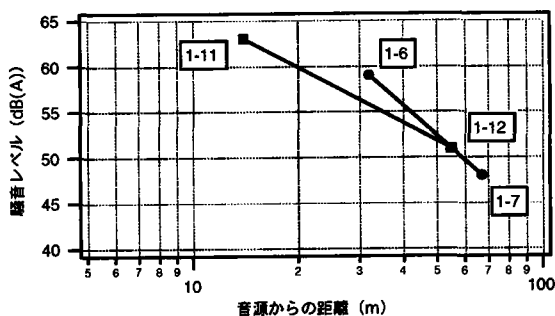


図-3 桁架設作業における騒音レベルの距離減衰

### 3.4 継手作業時の騒音測定結果

図-4に継手作業時に発生した騒音のレベルレコーダの記録を示す。騒音レベルの変化は短時間で急激に増加しており、1分間当たり4~5回の頻度で周期的に発生している。継手作業時にはラチェットレンチやTCレンチ、ハンマーなどの工具と鋼桁が接触することにより騒音が発生し、衝撃騒音が周期的あるいは間欠的に生じる準定常衝撃音となっている。

表-3に各地点における騒音レベルの評価結果を示す。最大値は75dB(A)であり、クレーンによる桁架設作業(表-2)と同様に騒音規制法に定められた基準値85dB(A)を下回っている。

図-5に騒音レベルの距離減衰を示す。桁架設作業における騒音レベルと同様に、倍距離当たり約6dB(A)の減衰となっている。

表-3 継手作業における騒音レベル

測定地点	騒音レベル (dB(A))	音源との測定地点との距離(m)
1-6	75	22
1-7	71	55
1-11	67	30
1-12	59	72

### 3.5 測定結果の評価

周辺住民に対しては、架設業者より説明会が行われ、騒音測定の結果は随時掲示された。さらに、聞き取り調査も行われた。

3.4に示した測定結果と聞き取り調査の結果からは、クレーンやトラックのエンジン音のように定常騒音を発生する工種に対しては騒音レベルが規制値以上でも大きな苦情にはならず、ドリフトピンの打ち込み音や単管パイプのぶつかり音のような衝撃騒音を発生する工種に対しては騒音レベルが規制値以下であっても苦情が多く寄せられることがわかった。

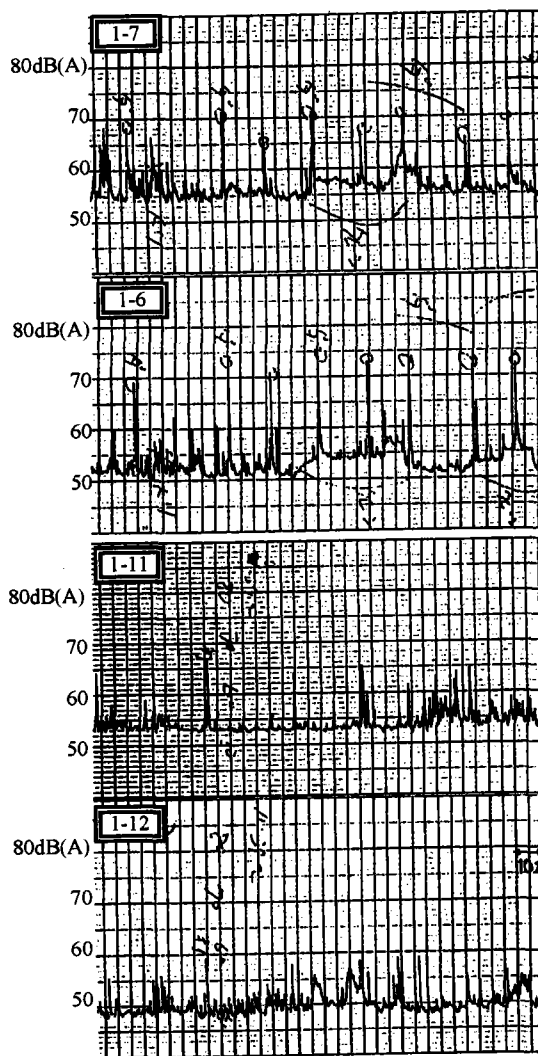


図-4 継手作業時におけるレベルレコーダ記録

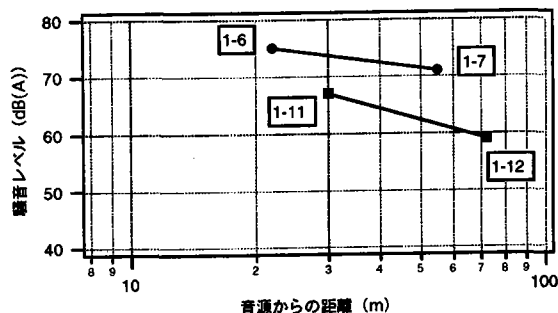


図-5 継手作業時における騒音レベルの距離減衰

#### 4. 鋼橋架設時に発生する騒音の周波数分析とパワーレベルの推定

3. で示したように、鋼橋架設時の騒音は「建設作業騒音の規制値」を超えるレベルではなかった。しかし、衝撃騒音に対しては騒音レベルが低くても住民から苦情が多く寄せられる場合があった。

そこで、鋼橋架設における代表的な作業騒音について騒音測定および周波数分析を行った。また、低騒音型の工具あるいは工法による作業についても騒音測定を行い、その有効性についても検討した。さらに、騒音レベルの大きい作業騒音についてパワーレベルの推定も試みた。

##### 4.1 橋梁の概要

騒音測定の対象とした橋梁は、橋長 58.0m、幅員 8.75m の単純鋼非合成箱桁橋である。

本工事は国道上に架かる架道橋の片側 2 車線分の架け替え工事であり、反対側 2 車線は架設作業中も車両が通行していた。

##### 4.2 測定対象作業騒音

測定を行った作業騒音を表-3に示す。

騒音の測定は23:00～5:00の夜間に通常の桁架設作業が行われる中で実施した。そのため、現場では投光器用発電機が多数使用されており、また、前述の通り反対側車線には車両が通行していたことから、騒音測定結果にはこれらから発生する音が含まれた

ものとなっている。そこで、これらの暗騒音の影響を把握するために、桁架設作業の開始前に平面道路上および橋桁上で暗騒音の測定を行った。

また、前章において住民から多くの苦情が寄せられることが明らかになったドリフトピンの打ち込み音については、従来のドリフトピンをスチールハンマーで打ち込む作業に加えて、騒音抑制効果が期待される工具として、ラバーハンマーを使用した場合、騒音抑制型ドリフトピンを用いた場合、電動式ピン締めを用いた場合についても騒音測定を行った。

表-3 測定対象作業騒音

	作業騒音	作業内容(騒音の発生要因)
①	暗騒音(平面道路上, 橋桁上)	投光器用発電機, 通行車両
②	単管パイプのぶつかり音	手すりの取り付け
③	クレーンの駆動音(アイドリング音, 駆動音)	主桁の吊り上げ・移動
④	スチールハンマーによるドリフトピンの打ち込み音	主桁の位置合わせ
⑤	ラバーハンマーによるドリフトピンの打ち込み音	
⑥	スチールハンマーによる騒音抑制型ドリフトピン打ち込み音	
⑦	電動式ピン締め音	

##### 4.3 騒音測定と周波数分析の概要

###### 4.3.1 騒音レベルの測定方法

騒音レベルの測定は、騒音計の周波数補正特性を A

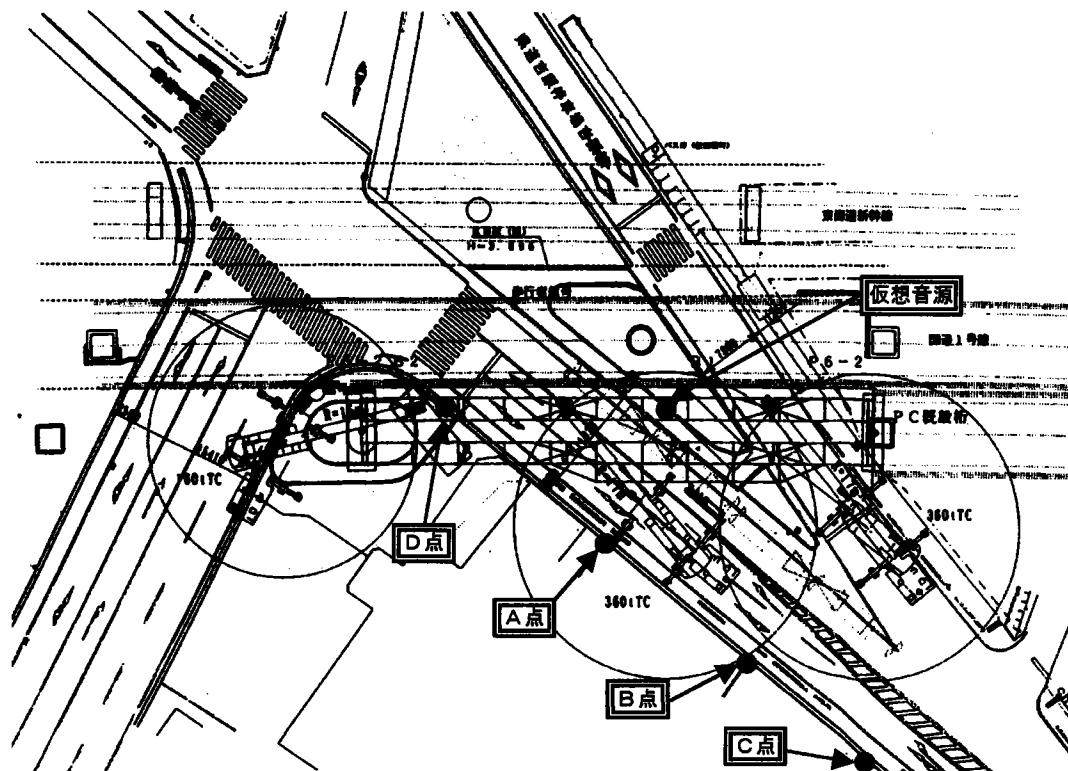


図-6 騒音測定位置

特性、レベルレコーダの動特性をFast、紙送りを1mm/sとして行った。

騒音の測定位置を図-6に示す。橋梁周辺で、架設中の作業騒音が安全に測定できる地点として、架設橋梁直下の地点Dおよび架設橋梁と交差する平面道路上に沿った地点A～Cの合計4地点を選定した。また、図中の仮想音源はドリフトピンの打ち込み作業を行った位置を示している。

これらA～Dの4地点において、地上1.2mにマイクロフォン(RION UC-53A)を固定するとともにレベルレコーダ(RION LR-06, LR-20)を配置して騒音レベルを測定した。

#### 4.3.2 周波数分析

騒音計の周波数補正特性をFLATとして、音圧レベルについて周波数分析を行った。図-6に示した測定地点とは別に騒音発生地点近くに測定機器を設置してデータを採取し、1/3オクターブ周波数分析器(RION SA-29)を用いて行った。

#### 4.4 作業騒音の測定結果と周波数分析結果

表-3に示した作業騒音の中から、①暗騒音、②単管パイプのぶつかり音、④スチールハンマーによるドリフトピンの打ち込み音、⑥スチールハンマーによる騒音抑制型ドリフトピンの打ち込み音、⑦電動式ピン締め音の騒音レベルの測定結果および周波数分析結果を示す。なお、騒音レベルはレベルレコーダ記録が最も明瞭に読みとれたA地点のものを示す。

##### 4.4.1 暗騒音

図-7に暗騒音のレベルレコーダ記録を示す。横軸は1目盛で5秒間を表す。変動幅約5dB(A)の定常騒音で、平均値69dB(A)、最大値72dB(A)である。

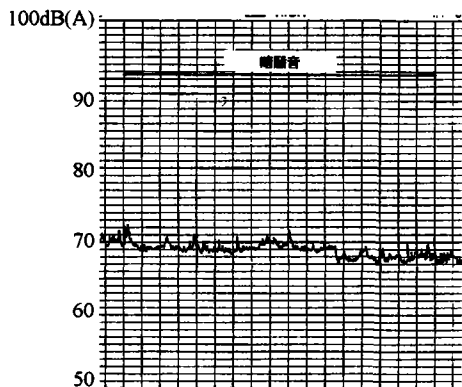
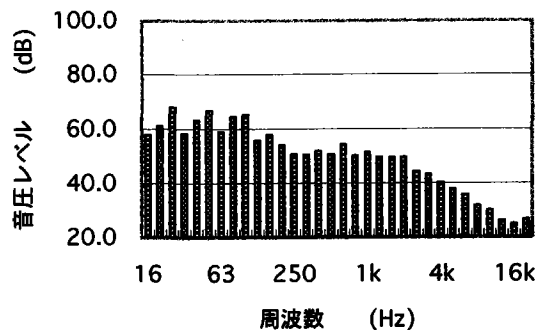


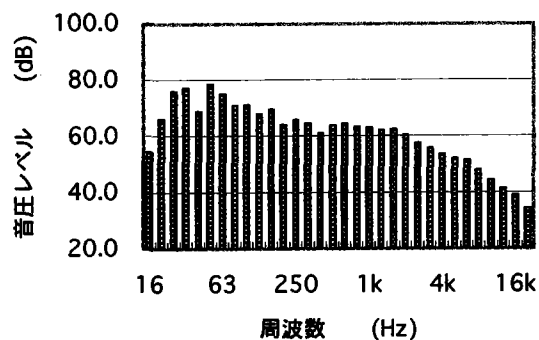
図-7 暗騒音のレベルレコーダ記録

図-8に平面道路上および橋面上における暗騒音の周波数分析結果を示す。平面道路上では、周波数25～100Hzの音圧レベルが大きく、暗騒音の音源として

は投光器の発電機が考えられる。橋面上では、いずれの周波数においても音圧レベルは平面道路上よりも大きく、特に250～630Hzの音圧レベルが増大している。これは、投光器用の発電機の騒音とともに反対側車線の通過車両の影響と考えられる。



(1) 平面道路上



(2) 橋面上

図-8 暗騒音の周波数分析結果

##### 4.4.2 単管パイプのぶつかり音

図-9に単管パイプのぶつかり音のレベルレコーダ記録を示す。約1秒間隔の衝撃騒音が5秒程度続く変動パターンが多く生じている。個々の衝撃騒音のピーク値にバラツキはあるが、準定常衝撃騒音と考えられる。衝撃騒音のピーク値は80～89dB(A)であり、最大値は90dB(A)である。

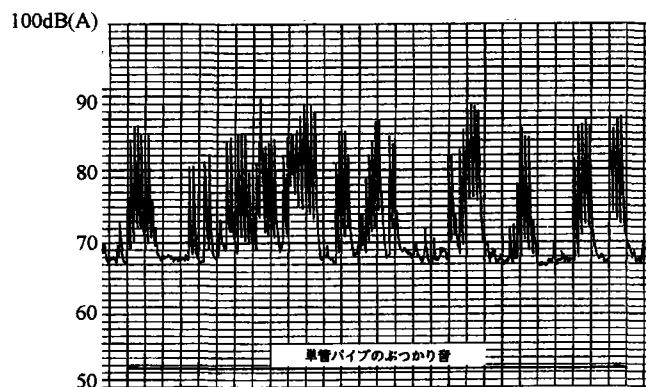


図-9 単管パイプのぶつかり音のレベルレコーダ記録

単管パイプのぶつかり音の周波数分析結果を図-10に示す。25～100Hzと2k～4Hzの2つのピークがあり、

2k~1Hzの音圧レベルは100dBに近い値を示している。このデータには前述のような暗騒音が含まれていることから、図-8(1)に示した平面道路上の暗騒音の周波数分析結果と比較すると、25~100Hzのピークは暗騒音においても現れており、その音圧レベルもほぼ一致していることから、25~100Hzのピークはバックグラウンドとして測定されている暗騒音であると考えられる。これより、単管パイプのぶつかり音は2k~4kHzの高周波数成分の影響が顕著であることがわかる。

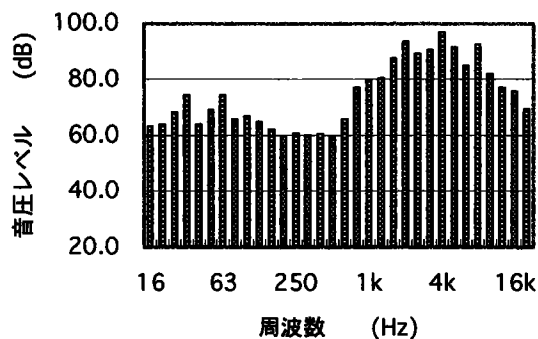


図-10 単管パイプのぶつかり音の周波数分析結果

#### 4.4.3 スチールハンマーによるドリフトピンの打ち込み音

図-11にスチールハンマーによるドリフトピンの打ち込み音のレベルレコーダ記録を示す。約1秒周期の衝撃騒音が継続する準定常衝撃騒音のパターンを示している。各衝撃騒音のピークは89~94dB(A)で、単管パイプのぶつかり音より大きな騒音レベルを示している。

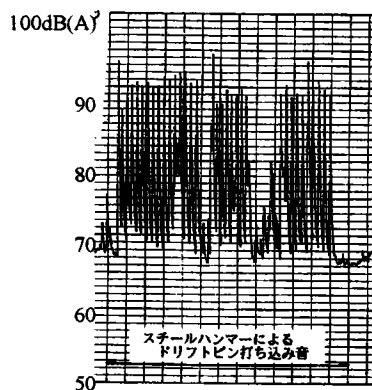


図-11 スチールハンマーによるドリフトピン打ち込み音のレベルレコーダ記録

図-12にスチールハンマーによるドリフトピンの打ち込み音の周波数分析結果を示す。500Hzを中心とした幅広い周波数領域の音圧レベルのピークとともに、31.5Hz以下にも顕著な音圧レベルが生じている。図-8(2)に示した橋面上の暗騒音と比較すると、31.5Hz以下のピークは反対側車線を通行する車両等の騒音の周波数特性にも現れているが両者のレベル差は大

きいので、暗騒音の影響は小さいと考えられる。

スチールハンマーによるドリフトピンの打ち込み作業では、ドリフトピンとスチールハンマーの衝突音だけでなく、打ち込みによって生じた箱桁の振動からも騒音が発生する。これより、幅広い周波数領域の音圧レベルにピークが生じていると考えられる。

また、橋面上における暗騒音の周波数分析結果(図-8(2))と比較すると、いずれの周波数領域においても音圧レベルは増大しており、暗騒音の影響は小さいと考えられる。

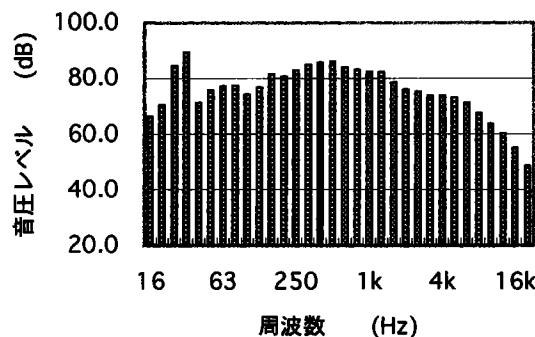


図-12 スチールハンマーによるドリフトピンの打ち込み音の周波数分析結果

#### 4.4.4 スチールハンマーによる騒音抑制型ピンの打ち込み音

図-13にスチールハンマーによる騒音抑制型ピンの打ち込み音のレベルレコーダ記録を示す。衝撃騒音のピーク値は、一箇所95dB(A)が記録されているがその他は80~90dB(A)である。衝撃騒音のピークの平均値は、通常ドリフトピンを使用した場合(図-11)に比べて約5dB(A)低下しており、騒音抑制型ピンの効果が現れている。

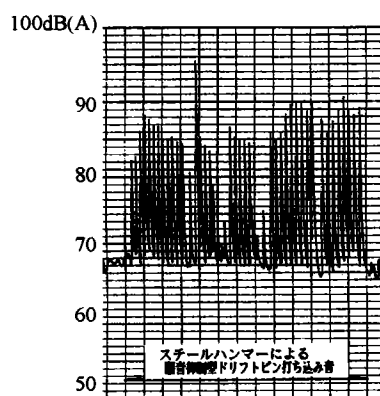


図-13 スチールハンマーによる騒音抑制型ドリフトピンの打ち込み音のレベルレコーダ記録

図-14にスチールハンマーによる騒音抑制型ドリフトピンの打ち込み音の周波数分析結果を示す。ラバーハンマーによるドリフトピンの打ち込み音(図-12)と比較すると、315, 400Hzにおける音圧レベルのピークが抑制され、その他はラバーハンマーによ

るドリフトピンの打ち込み音と同様の周波数特性を示している。

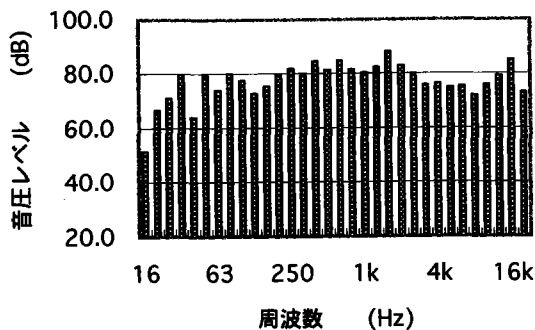


図-14 スチールハンマーによる騒音抑制型ドリフトピンの打ち込み音の周波数分析結果

#### 4.4.5 電動式ピン締め音

図-15に電動式ピン締め音のレベルレコーダ記録を示す。時間変動パターンは衝撃騒音が連続した形であるが、ピーク値のバラツキが大きい。最大値は82dB(A)で、スチールハンマーによるドリフトピン打ち込み音に比べて10dB(A)以上の低下を示している。

電動式ピン締めは、ハンマーでピンに衝撃力を与えるのではなく、専用のピンを電動式レンチで締め込むものであり、ピンの締め込み、空回り等の電動式レンチの駆動状態の違いが騒音レベルのピーク値のバラツキに現れたものと考えられる。

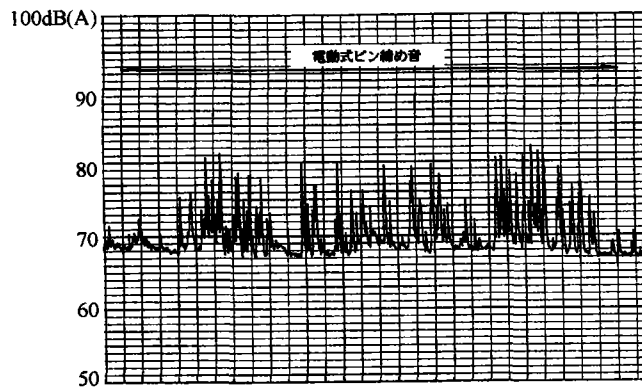


図-15 電動式ピン締め音のレベルレコーダ記録

図-16に電動式ピン締め音の周波数分析結果を示す。低周波領域にピークがあるが、その他の周波数領域には顕著な特徴は現れていない。低周波領域の音圧レベルは、橋面上の暗騒音(図-8(2))と大差がなく、ラバーハンマーを使用した場合や騒音抑制型ドリフトピンを使用した場合と同様に暗騒音の影響が大きいと考えられる。

電動式ピン締め音は、前述のように電動機の駆動状態によって騒音レベルが異なり、これに伴って周波数特性も変化すると考えられる。したがって、測定タイミングによって周波数特性が変化することが予想される。

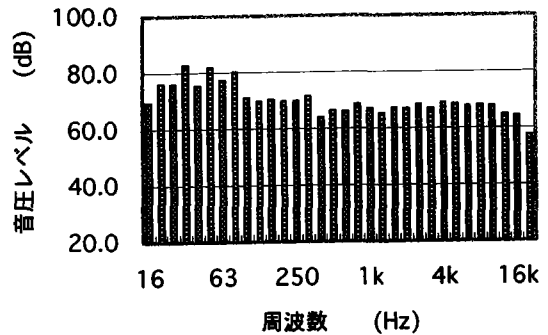


図-16 電動式ピン締め音の周波数分析結果

#### 4.5 パワーレベルの推定

スチールハンマーによるドリフトピンの打ち込み作業を対象に、図-6に示した地点A～Dにおける騒音レベルの測定結果を用いてパワーレベルの推定を行った。

##### 4.5.1 パワーレベルの推定方法

スチールハンマーによるドリフトピンの打ち込み作業の位置を仮想音源として、図-6に示した仮想音源とマイクロフォンの位置より音源と測定点との距離を算出し、発生位置からの距離と騒音レベルとの関係を求めた。そして、ドリフトピンの打ち込み音を点音源と仮定して、以下の方法<sup>5)</sup>によりパワーレベルの試算を行った。

点音源が自由空間にあり、点音源のパワーレベルを $L_w$ 、点音源から $r$ (m)離れた点での騒音レベル $L_A$ とすると、これらの間の関係式は次式で与えられる<sup>5)</sup>。

$$L_w = L_A + 20 \log r + K \quad (1)$$

ここに、 $K$ は音源周辺の音響反射を考慮して決定される音響補正值である。音源が自由空間にある場合には $K=11$ 、半自由空間にある場合には $K=8$ となり、厳密には標準音源を用いて現地で決定する必要があるが、本報告では未知定数とした。

表-4に仮想音源から地点A～Dまでの距離および各地点における騒音レベルを示す。これらの値は、「1本のドリフトピンをスチールハンマーで打ち込む一連の作業」の中で各測定点の最大の騒音レベルをレベル記録より5セット読みとったものである。

##### 4.5.2 パワーレベルの推定結果

表-4に示した騒音レベルのデータと式(1)を用いてパワーレベルを推定した結果を図-17に示す。横軸は音源から測定地点までの距離を対数表示したものであり、縦軸は各測定地点における騒音レベルより求めた音源のパワーレベルを表している。



表-4 スチールハンマーによるドリフトピンの  
打ち込み音の騒音レベル (dB(A))

地点	音源からの距離(m)	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
A	19.1	96.7	93.7	99.3	95	98.3
B	36.3	84.9	81.7	86.8	82.8	84.8
C	58.9	77.1	76.3	80.5	77.3	79.7
D	30.2	97.9	94.4	98.2	96.3	97.4

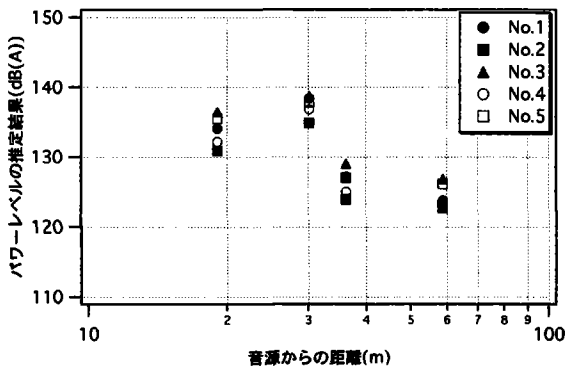


図-17 パワーレベルの推定結果

スチールハンマーによるドリフトピンの打ち込み作業は人力による作業であるため不均一なパワーレベルの騒音が発生しており、音響補正値を考慮すればパワーレベルは110～130dB(A)程度になると考えられる。この値をその他の建設作業騒音と比較すると、ディーゼルパイルハンマー (115～140dB(A)) やドロップハンマー (115～135dB(A))<sup>6)</sup>と同程度のレベルである。

パワーレベルが大きく推定された理由は、前述のように、同作業音は箱桁をハンマーで打つ形となるので箱桁が振動し、箱桁からも騒音が放射されること、箱桁が音源となる場合には音源と測定点との距離が表-4の値よりも小さくなる等が考えられる。

## 5. おわりに

鋼橋の架設作業を対象に、作業内容を分類することによりそこから発生する騒音とその要因を整理し、それらの騒音について騒音レベルの測定を行った。その結果を踏まえて、住民からの苦情が予想される単管パイプのぶつかり音、クレーンの駆動音、およびスチールハンマーによるドリフトピンの打ち込み音について騒音レベルの測定と周波数分析を行った。主桁の位置合わせ作業で発生するスチールハンマーによるドリフトピンの打ち込み音については、騒音抑制型工具であるラバーハンマーや騒音抑制型ピンと使用した場合、電動式レンチによるピン締めを行

った場合の騒音測定も行い、それらの有効性についても検証した。さらに、スチールハンマーによるドリフトピンの打ち込み音についてパワーレベルの推定も試みた。

これらの結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 周波数分析の結果より、単管パイプのぶつかり音は2～4kHz、クレーンの駆動音は200～1kHz、スチールハンマーによるドリフトピンの打ち込み音は31.5Hz以下の200～1kHzの音圧レベルの影響が大きいことがわかった。
- (2) 主桁の位置合わせ作業における騒音レベルは、スチールハンマーによるドリフトピンの打ち込みを行った場合に比べて、騒音抑制型ドリフトピンを使用した場合には5dB(a)、電動式レンチによるピン締めを実施した場合には10dB(A)低下することが確認できた。
- (3) スチールハンマーによるドリフトピンの打ち込み音のパワーレベルの推定値は110～130dB(A)となった。

## 参考文献

- 1) 杉山篤：建設工事に伴う騒音・振動の実態と評価，騒音制御，Vol.1，No.3，pp.2-9，1977.6.
- 2) 沢田茂良，太田宏：建設機械騒音の実態調査報告 建設の機械化，No.358，pp.56-60，1979.12.
- 3) 藤本義二：建設機械の低騒音化の現状，騒音制御，Vol.5，No.4，p.4-10，1981.8.
- 4) 前内永敏：建設機械騒音の現状—法規制と事業者の取組み—，騒音制御，Vol.19，No.4，pp.1-2，1995.
- 5) 公害防止の技術と法規編集委員会：公害防止の技術と法規 [騒音編]，丸善，pp.54-53，1987.7.
- 6) 土木学会：土木技術者のための振動便覧，土木学会，pp.488-489，1985.10.

## 環境に優しい鋼橋の提案

### Proposal of Environmentally Friendly Steel Bridges

**ABSTRACT:** Environmental problems concerning steel bridges were studied and counter-measures to solve or improve these environmental issues are proposed on every aspects in the bridge life span such as materials, fabrication, transportation, erection, maintenance and recycles. Then, the environmentally friendly steel bridges have been proposed and presented with illustrations.

**Key Words:** 環境に優しい鋼橋, 環境問題, 二酸化炭素排出, リサイクル  
Environmentally friendly steel bridges, environmental problems,  
CO2 emission, recycle

#### 1. はじめに

我が国の環境問題は、60年代の急速な工業化から派生した、水俣病、イタイイタイ病、四日市ぜんそくなどの環境汚染による公害病が大きな問題となった。60年から70年代の初めにかけては、環境問題は大気、水質、騒音などの公害問題が主に取り上げられた。70年代に環境庁が発足し、公害などによる環境汚染の未然防止を目指しアセスメントの法政化をはかったが、73年のオイルショックなど厳しい社会環境の影響が、実現しなかった。80年からは環境管理計画が、80年代後半から90年代には地球環境問題が大きくクローズアップされてきた。また、近年は、化学物質による汚染なども深刻な問題となってきた。我が国の環境行政の取り組みは、公害防止のための規制中心から、環境汚染の未然防止を主眼とした取り組みを加えた総合的な取り組みへと変化してきた。

21世紀においては、あらゆる生産活動は「環境への配慮」を無視してはありえない。鋼橋も例外ではなく、環境問題への積極的な取り組みが重要であると考えられる。

特に、地球温暖化は、人の活動に伴って発生する温室効果ガス(二酸化炭素, メタンなど6物質)により、地表および大気の温度が上昇し、生態系や気象に深刻な影響をおよぼす重要な問題である。「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」では、このままの状況が続けば、100年後には平均気温が2℃上昇し、海面が50cm上昇すると予測しており、生物・水資源・食料生産・洪水・高潮・健康などの分野で大きな影響が懸念される。この地球温暖化問題に対処するため、先進国の温室効果ガスの排出量に関し、法的拘束力のある数値目標を盛り込んだ「京都議定書」が採択され、我が国においては「温室効果ガスの総排出量を2012年までに1990年レベルから6%削減する」との目標が定められた。これらの背景を考慮し、土木学会LCA委員会<sup>1)</sup>、伊藤ら<sup>2),3)</sup>、米沢ら<sup>4)</sup>は、鋼橋建設に関する二酸化炭素の排出量および環境負荷を推定し、その削減方法について研究している。

本論文では、鋼橋に関する環境問題を種々の角度から調査し、その生産プロセスごとに環境負荷を低減する対策を整理し、さらに環境に優しい鋼橋を提案する。

## 2. 環境問題の分類

一般的に、環境問題は3種類に分類する(図-1参照)。地球規模で生ずる地球環境問題、国および地域レベルで生ずる自然環境問題、人々の生活に密着した生活環境問題である。

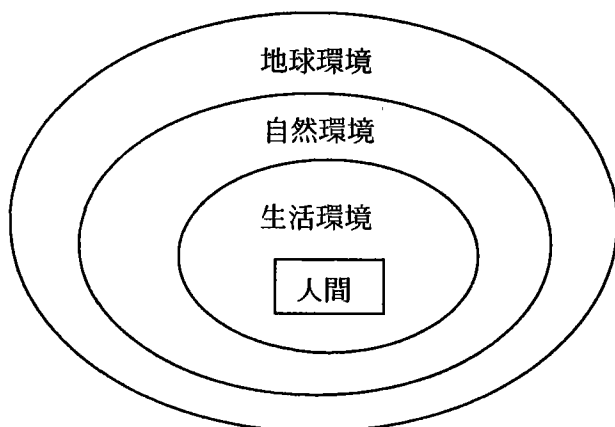


図.1 環境問題の分類

表.1 取り組むべき環境問題

地球環境問題	地球温暖化 オゾン層の破壊 砂漠化 酸性雨
自然環境問題	自然環境破壊 森林伐採 洪水
生活環境問題	騒音・振動問題 ごみ消却問題 ダイオキシン汚染 水質汚染

### 2.1 地球環境問題

地球温暖化、砂漠化、酸性雨等は地球規模で生ずる環境問題である。現在、最大の問題は地球温暖化であり、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>などの温室効果ガスの排出量を削減することが重要である。我が国の建設関連産業が排出するCO<sub>2</sub>の総量は、産業界全体の1/3を占める。したがって、この削減対策に取り組むことが、建設産業の責務である。

具体的対策として、新素材や高性能材料の開発・積極的な使用、資材の運用、リサイクル、廃棄にいたる循環システムの確立、住宅・建築物の省エネルギー基準の強化と整備に関するインセンティブを促す措置の実施、都市緑化や水循環システムに関する技術の整備、道路交通システムの合理的な整備により交通渋滞の緩和などがあげられる。

### 2.2 自然環境問題

道路や宅地開発により森林を伐採し、そのため洪水が発生しやすくなり、また希少動物が絶滅するなどの自然環境問題は、土地開発を行う建設事業に直結する問題である。

開発と環境の良好なバランスを保ちつつ持続可能な開発をするために、効率的な長期資源管理を実施していかなければならない。環境保全を考慮する環境保全型の開発には、生態系の保全技術、適切な環境影響評価技術、緑化技術、適切な保護、回復技術の開発が必要である。また、伝統的な手法や自然素材を活用した技術を見直し、自然環境の保護や保全に最も有効な方法をとっていくことが大切である。

### 2.3 生活環境問題

生活環境問題は、人間生活に最も密着したものであり、なかでも騒音・振動問題が、最も一般的な問題であろう。騒音・振動は、ダイレクトに生活に影響するものであり、これらの問題がないことは、穏やかな生活を送るうえで、絶対的な条件である。

最近では、ダイオキシン、環境ホルモン汚染問題、ごみ処理、騒音・振動、有害物質の廃棄処理などは生活に直結する問題として注目を浴びている。これらは、行政との関わりが大きく、その制御が必要であるが、世界的に事業者責任の確立が大きな流れになっている。これらの問題解決には、ごみ排出量の削減に努め、有害物質の排出抑制の能力を持ったごみ処理施設の開発・建設が必要である。また、適切なリサイクル活動を評価し、逆の場合には罰則を設けるなど、行政によるモチベーションの強化も必要である。

建設業界にとっての課題は、全産業廃棄物の2割を占める建設廃棄物の処理・処分である。今後、「捨てる」より「活かす」考えに徹し、木材については、コンクリート型わくの改良や転換による消費量の削減、コンクリートは、廃コンクリートの骨材化再利用を図るなど、建設資材面での発想転換が必要である。鋼材は、転用、電炉材としてのリサイクルが可能であり、「活かす」部材として有望であるが、地球環境への負荷が高い材料であり、製造方法の革新的進歩が必要である。

## 3 鋼橋の生産プロセスにおける環境問題

我が国の近代橋梁は明治時代の輸入橋梁に始まるが、その当時には都市の重要橋梁としての耐久性が求められた。そして、大正期にかけては、構

造自体の美を重要視するとともに、架橋地点の環境との調和を考慮した形式選定が進むこととなった。都市部の橋梁は街の景観を形づくり、自然の中の橋梁は山野の景色にアクセントを提供してきた。しかし、戦後の高度成長期においては、“安く・早く・大量に”を合い言葉に狭義の合理化が行われ、橋梁の形態・風景というものからはかけ離れたものとなった。

橋梁は都市や地域を発展させ、利便性を向上させるうえで不可欠な構造物であるが、これを造り社会に提供するという行為は環境問題（自然・生活・地球）に多大な影響を及ぼしていると考えられる。

ここでは、鋼橋の資材生産から供用・維持管理までを以下のプロセスに分類し、各プロセスで発生しうる環境問題を地球環境問題から生活環境問題までを総合的に調査する。

### 3.1 材料

鋼橋の主材料は鋼材である。鉄鋼業は鉄鉱石の還元剤として石炭を用いており多大なCO<sub>2</sub>を発生しており、この量は全産業の1/7程度にあたる<sup>5)</sup>。鋼材生産におけるCO<sub>2</sub>の排出量は0.411 kgC/kgであり、コンクリートの排出量0.0361 kgC/kgと比較すると10倍以上である<sup>1)</sup>。また燃焼によりSO<sub>x</sub>（硫黄酸化物）、NO<sub>x</sub>（窒素酸化物）、ダイオキシンなどの環境負荷物質を排出しており、これらは地球温暖化、酸性雨などの地球環境問題に影響を与えている。

### 3.2 製作

橋梁製作の大きな流れは切断、孔明、組立、仮組立、工場塗装となるが、どの工程においても機械を使うことになり、また組立工程では溶接作業が不可欠であり、CO<sub>2</sub>やSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>が排出される。また機械が発する騒音、振動などがあるが、これは工場内で発生し、工場近隣には住宅地などが少ないため影響は少ない。

鋼板の残材はスクラップとしてリサイクルされているが、残塗料、図面原紙などは工場内で産業廃棄物として扱われる。これらの発生を抑えると共に、処分場の確保などの問題が考えられる。

### 3.3 運搬

鋼材の製鉄所から橋梁工場への運搬時や、工場内での部材の運搬時には、輸送車の排気ガスにより粉塵、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>等の環境負荷物質の排出、また騒音や振動も発生する。

### 3.4 架設

架設には工事用道路が必要であり、そのために山間部などで橋梁が架設される場合には森林伐採を行い、動植物の生態系が変化する恐れがある。また、重機使用によるCO<sub>2</sub>やSO<sub>x</sub>の排出が考えられ、現場溶接を行う現場では溶接によるCO<sub>2</sub>の発生なども考えられる。繁華街、住宅地などに架設される場合は重機使用やボルト締付け作業により騒音・振動問題が発生し、生活環境に負荷を与えている。また、仮設材、廃土、塗料の余りなど工場同様に産業廃棄物が多量に発生し、その処理も社会的な環境問題を引き起こしている。

### 3.5 供用、維持管理

橋梁供用時の環境問題には、車両からの排気ガスによるCO<sub>2</sub>やSO<sub>x</sub>の排出、車両通行による騒音・振動・低周波などがあげられる。維持管理時には、舗装・床版取換え、塗装塗換え時等のメンテナンス工事の際に、重機使用あるいは車両通行規制などで渋滞が発生すれば、その影響によりCO<sub>2</sub>やSO<sub>x</sub>の排出される。また、取換え後の廃材などは産業廃棄物として処理される。

## 4. 環境に優しい鋼橋

前章で資材生産から維持管理までの過程内で発生しうる環境問題について述べたが、ここではそれらの対策について述べ、さらに環境に優しい鋼橋を提案する。

### 4.1 材料

材料生産時に発生する環境問題として温室効果ガスおよび環境負荷物質の排出をあげたが、その対策として以下が考えられる。

第一に、鋼材単位重量当たりのCO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>の排出量を少なくすることは環境負荷低減の重要な対策である。鉄鋼業を例にあげると、2010年までに1990年比でエネルギー消費量を10%削減する目標を掲げ省エネ対策に取り組んでおり<sup>5)</sup>、例えば、自家発電設備などは代表的な排エネルギー回収設備である。

第二に、橋面積当たりの使用材料の量を減少させることが重要である<sup>6)</sup>。具体的には、高強度鋼材・コンクリート等の高規格材の使用、LP鋼板などの特殊材の使用、少数主桁・連続合成桁などの合理化した構造形式の採用などがある。また、設計手法の改善やスペックの見直しも使用材料を減少させる対策となる。ボルト継手部の設計を例にとると<sup>7)~8)</sup>、道路橋示方書で用いているすべり係数や安全率が海外の設計仕様と比較すると比較的

安全側に設定されていたり、フランジ継手とウェブ継手を個別に設計しており、やや余裕を持った設計をしている。これを見直すとボルト本数を2割程減少させることができる。

第三に、電炉材を有効に利用することである。CO<sub>2</sub> 排出量に着目すると、高炉材 0.411 kgC/kg に対し電炉材 0.128 kgC/kg で電炉材は高炉材の 1/3 程度の CO<sub>2</sub> 排出量である<sup>1)</sup>。電炉材などのリサイクル材を使用することで環境負荷を低減することが可能である。

#### 4.2 製作

橋梁製作過程では CO<sub>2</sub>, Sox, NOx の排出が問題となる。主な排出要因は、切断機や穿孔機等の機械の使用、組立て時の溶接作業、そして仮組立時の重機械の使用によるものである。また、廃棄物処理の問題がありこれは建設業界のみではなく他業種にも問題となっている環境問題である。対策として以下が考えられる。

第一に、材片数、溶接延長を少なくすることである。機械の使用頻度および溶接延長を少なくすれば、CO<sub>2</sub> 等の排出量は削減される。薄肉多補剛の従来橋は材片数も溶接延長も多く、これを少なくすることが課題である。これに対しては、1部材1断面の省力化桁や少数主桁が有効である。しかし、省力化桁は材片数、溶接延長が減る一方で、鋼重が増加するデメリットがあるので必ずしも環境負荷低減の効果があるとはいえず、材料生産過程も含めた定量的な把握が必要である。

第二に、前述したように高力ボルトの設計は余裕を持って設計されている。したがって、設計方法の改善やスペックの見直しをすることで必要ボルト本数が減少し、穿孔機の使用を減らすことが可能となる。

第三に、仮組立シミュレーションシステムを用いて仮組立を省略することは、重機の使用がなくなり、CO<sub>2</sub> 等の排出を低減に寄与する。そのためには、シミュレーションと実橋の誤差を吸収するための配慮や製作精度の向上が必要である。

第四に、治具の転用とリサイクルの徹底、リサイクルシステムの確立が重要である。鋼材に関しては、リサイクルが徹底されている。それ以外の廃棄物も分別を徹底し、同業種に関わらず他分野にわたってリサイクルシステムを構築すれば、リサイクル率をあげることができ、さらに環境負荷を低減できる。

#### 4.3 運搬

橋梁運搬時に発生する環境問題について、主要因は車両が排出する排気ガスであり、その対策は

以下が考えられる。

第一は、輸送重量、輸送回数を少なくすることである。高規格材・特殊材料を使用することやボルト接合を現場溶接に変更することで重量および輸送回数の軽減することができ、排気ガスの量を減らすことができる。

第二に、化石燃料に変わる代替エネルギーの使用。電気駆動などによるクリーンエネルギーの使用が実現可能となれば排ガス問題は解消され大幅な環境負荷軽減が期待できる。

#### 4.4 架設

架設時には、種々の環境問題の発生が考えられ、その発生要因も一つではない。それらに対しては、以下のような対策が考えられる。

第一は、架設を簡素化することである。CO<sub>2</sub>, SOx, NOx 排出の主要因としては建設用重機の使用が考えられるため、架設を簡素化することで重機の使用頻度を少なくし環境に対する負荷を低減できる。具体的には、部材長を長くすることや地組規模を大きくすること考えられる。しかし、これらは輸送制限や架設地の条件により決まることがほとんどであり実現は難しい。

第二は、移植、緑化、エコロードの設置である。生態系変化に関しては、工事用道路等の過剰な森林伐採が主要因であると考えられるが、移植や緑化を行えば植物量の変化は少なくなるであろうし、小動物の横断路を確保するエコロードの設置なども対策の一つである。

第三は、現場継手に溶接継手を採用することである。架設時における騒音、振動問題の発生要因の一つにボルト締付け作業が考えられる。この対策としては継手部を現場溶接に変更することで、CO<sub>2</sub> 発生というデメリットがあるものの騒音、振動の双方の問題が解消でき、添接板・高力ボルトの材料の減少も期待できる。

第四は、施工用の新技術を開発することが考えられる。山間部のペント設置が不可能な場所に、ジャッキアップ回転工法という新技術で橋梁が架設された。これは、森林伐採量を少なくすることができ環境負荷低減につながる。また、回転圧入杭という新しい部材を用いることにより、廃土もなく振動・騒音も軽減できる。このように新商品・技術の開発し、それを環境問題対策として用いることで環境負荷を低減することが可能となる。

第五は、架設用資材の廃棄物対策である。架設資機材を転用したり、素材として再利用すれば環境負荷低減が可能である。橋梁製作過程で述べたように異業種も含めたりサイクルシステムの構築も必要である。

#### 4.5 供用, 維持管理

橋梁供用時, 維持管理時に発生する環境問題の主要因は, 車両通行によるものと, 維持管理作業によるものに大別される。本過程で発生する環境問題対策として以下を提案する。

第一は, 消費エネルギーを少なくすることである。交通渋滞の緩和を目的とした情報提供, 自動料金収受システム等の情報通信技術を用いることで交通渋滞が緩和し消費エネルギー量や排気ガス排出量が期待できる。これらの一部は既に実用化されている。また道路を立体交差させれば, 信号をなくし車両の停車頻度を少なくすることが可能であるし, 計画時に車両の速度が落ちないような線形(幅員, 縦横断勾配等)を検討することにより渋滞を緩和し消費エネルギーを低減することができる。

第二は, 化石燃料に変わる代替エネルギーの使用である。橋梁運搬時同様に石油に変わる燃料を使用することが実用化されれば環境負荷を低減することができる。

第三は, 低メンテナンス, メンテナンスフリー構造の採用である<sup>9)</sup>。維持補修を少なくすることは, 補修工事自体の環境負荷を低減するにとどまらず, 工事によって発生する交通渋滞も緩和できる。定期的なメンテナンスが必要なものとしては, 床版, 舗装, 支承, 伸縮装置, 塗装がある。これらを長寿命化することで補修工事減となる。桁の連続化, 橋脚との剛結構造を採用すれば付属物(支承, 伸縮装置等)が省略でき, 維持補修が不要となるので環境負荷を低減できる。伸縮装置を省略することで伸縮装置通行時の通過音がなくなり騒音問題対策にもなる。塗装に関しては, 耐候性鋼材やメッキ処理鋼板を用いることで塗装の塗替え工事がなくなり, 塗料の飛散なども防ぐことができる。

第四は, 騒音, 振動, 低周波振動に対しては, 適切な対策設備を設置することがあげられる。防音壁や防音コンクリート, 埋設型伸縮装置, 裏面吸音板等があり, 設備ではないが制振鋼板などの特殊材料を用いることも考えられる。

第五は, 橋そのもののリサイクルを促進することである。材料としてリサイクルする他に, 橋梁部材を転用してリサイクルすることが考えられる<sup>10)</sup>。鋼材生産の過程でCO<sub>2</sub>を多く排出しておりリサイクルの促進は早急に行われるべきと考えられる。

#### 4.6 景観を配慮した構造形式の選定

景観を考慮した構造形式を選定するニーズが施

主や住民から要求されるケースが増えている。例を挙げると, アーチ部材にバスケットハンドル形式を採用することや箱桁のウェブを斜に配置した構造などがある。現地の風景と調和させたい場合には, CGを用いて画像を合成させればイメージ図を作成することができる。また化粧板やルーバーを用いることも有効である。

#### 5. まとめ

本論文では, 鋼橋に関する環境問題を総合的に調査し, 橋梁の材料生産から維持管理までの過程における対策を整理した。これらを総合的にイラストとしてまとめた環境に優しい鋼橋を図-2に提案する。基本思想として高耐久性・長寿命をめざし, 地球環境への配慮, 自然環境への配慮, 生活環境への配慮の具体策を示した。また, 主に地球環境に配慮した仕様を図-3に, 生活環境に配慮した仕様を図-4に示す。

これらの対策には, 合理化構造の採用や特殊材料の採用など, 橋梁計画・詳細設計の段階で対処できるものが多くを占めていることが理解できた。したがって, 建設業の環境問題への対応が急務となっている現在, 計画・設計段階から環境負荷低減を目的とした提案を積極的に行ない, 早急に対処しなければならない。

本論文は鋼橋技術研究会の環境問題部会(部長: 中村俊一)において研究した成果をまとめたものである。本研究の実施にあたり, 伊藤学会長および阿部英彦技術委員長より助言をいただいた。ここに, 謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 土木学会地球環境委員会, 環境負荷(LCA)評価検討小委員会: 土木建設業における環境負荷評価(LCA)検討部会, 平成7年度調査研究報告書。
- 2) 伊藤義人ら: 地球環境負荷削減のための橋梁ライフサイクル評価に関する研究, 構造工学論文集, Vol.45A, 1295-1305, 1999。
- 3) 伊藤義人ら: 少数主桁橋梁と従来型橋梁のライフサイクル環境負荷とコストの比較研究, 構造工学論文集, Vol.46A, 1261-1272, 2000。
- 4) 米沢ら: CO<sub>2</sub>発生量に着目した鋼橋の環境負荷, 構造工学論文集, Vol.47A, 1261-1272, 2001。
- 5) 環境報告書(平成11年度) 新日本製鐵(株)

- 6) 次世代土木鋼構造研究特別委員会 合理化設計法小委員会：合理化桁に関するデザインマニュアル (H12.3)
- 7) 秋山寿行：鋼 I 桁の高力ボルト継手設計法の合理化の提案，駒井技報，Vol.16，1997
- 8) 水野ら：高力ボルト継手部の合理化設計に挑戦
- 川田技報，Vol.17，JAN，1998
- 9) 建設省土木研究所 鋼構造橋梁部 橋梁研究室：ミニマムメンテナンス橋に関する検討 H9年6月
- 10) 成田ら：鋼道路橋の再利用に関する基礎的研究，鋼構造年次論文報告集、第5巻、1997年11月

「環境に優しい鋼橋」の創出には、橋梁計画・詳細設計段階での配慮が必要である。

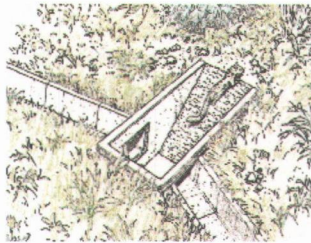
### 自然環境への配慮

#### 里・山への配慮

- ・ 移植、緑化による自然環境の復旧
- ・ 環境破壊を考慮した架設工法の提案
- ・ 適切なスパン割、構造の選択
- ・ 立地環境に調和した構造の選択

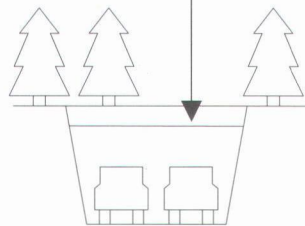
#### 生態系の配慮

- ・ 生息空間の移転
- ・ エコロード計画



小動物に配慮した斜路付き樹の設置

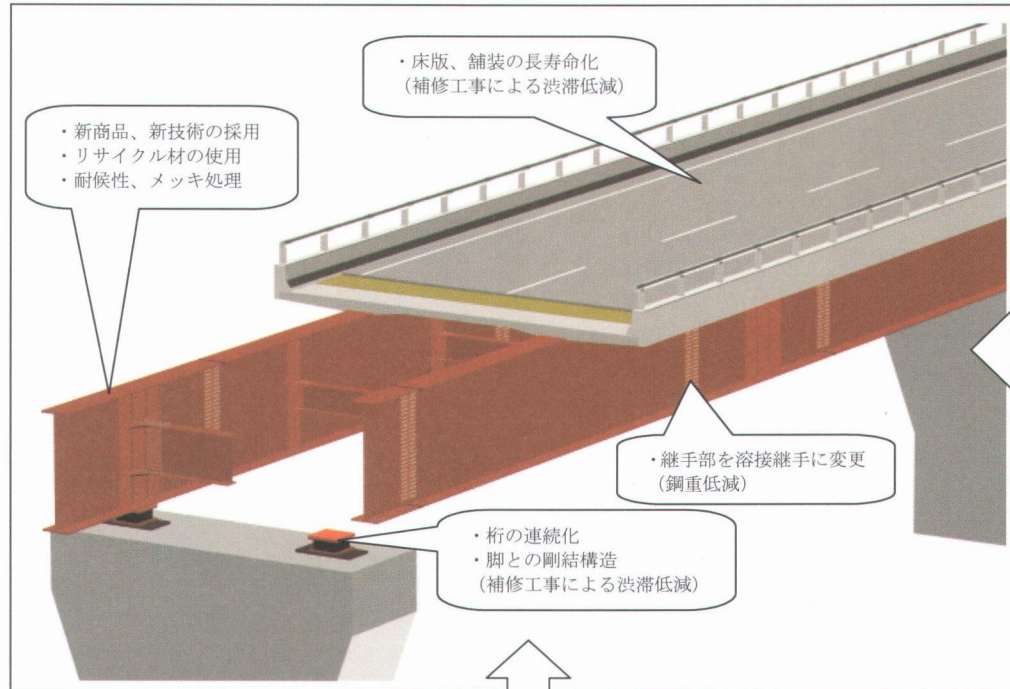
#### 動物用の橋梁



### 環境仕様 基本構造

高耐久、長寿命は地球、社会、生活環境問題対策となる

- ・ 舗装・床版などの長寿命化による取替えの長周期化
- ・ 桁の連続化、剛結構造による付属物の省略
- ・ 耐候性鋼板、メッキ処理や金属溶射による防錆対策、維持管理の削減
- ・ リサイクル材
- ・ 継手部を溶接継手に変更



### 生活環境への配慮

#### 騒音・振動問題対策

- ・ 防音壁、防音コンクリート、裏面吸音板などによる防錆対策設備の設置
- ・ 埋設型伸縮装置の設置による騒音発生源の削除
- ・ 制振鋼板による騒音発生源の削除
- ・ 透光性のある防音壁
- ・ 桁の連続化による騒音発生源の削除

#### 廃棄物対策

- ・ リサイクルシステムの構築

### 地球環境への配慮

#### 地球温暖化対策

- ・ 材料減となる構造形式の採用 (少数主桁、連続合成桁)
- ・ リサイクル材の使用
- ・ 立高規格、特殊材料の使用 (使用材料を少なくする)
- ・ 体交差適用や線形の見直しによる車両渋滞の削減
- ・ 設計法、スペックの見直しによる合理化設計
- ・ 仮組み立て省略や架設の簡素化による重機使用頻度の減少
- ・ 触媒化学変化を活用した NOx 削減

二酸化チタンを触媒として紫外線により TiO<sub>2</sub> と NO<sub>x</sub> の大気外放出を減少させる

#### TiO<sub>2</sub> を塗布した防音壁、壁高欄

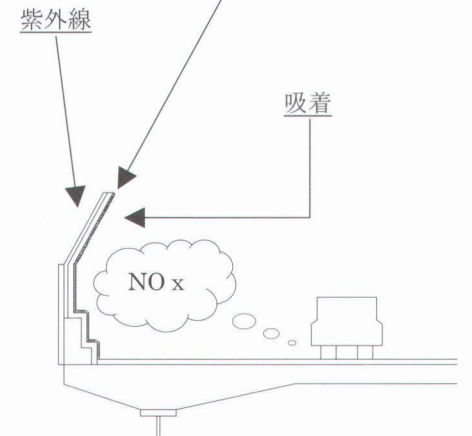


図.2 環境に優しい鋼橋の提案



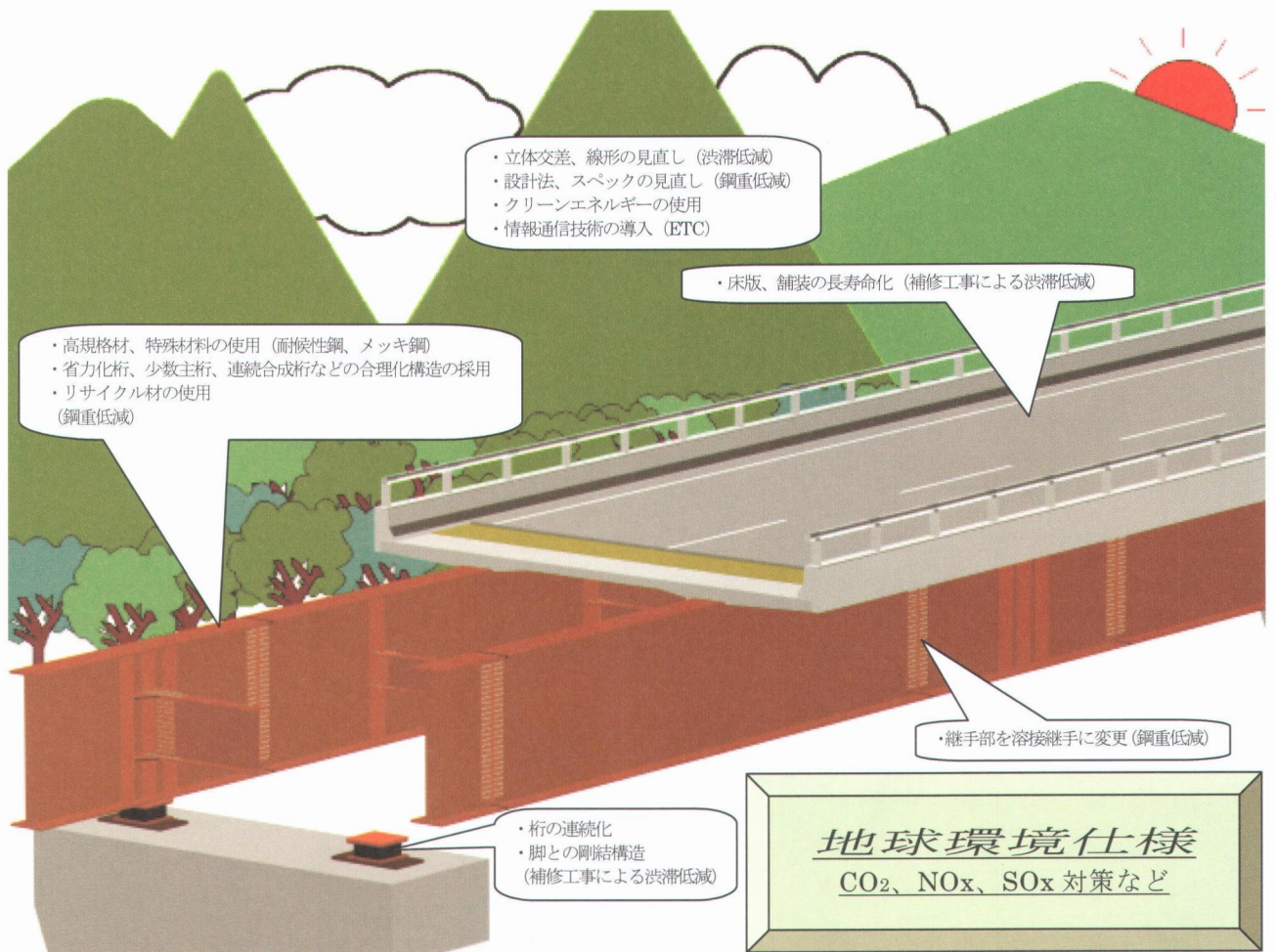


図.3 環境に優しい鋼橋の提案 (地球環境)

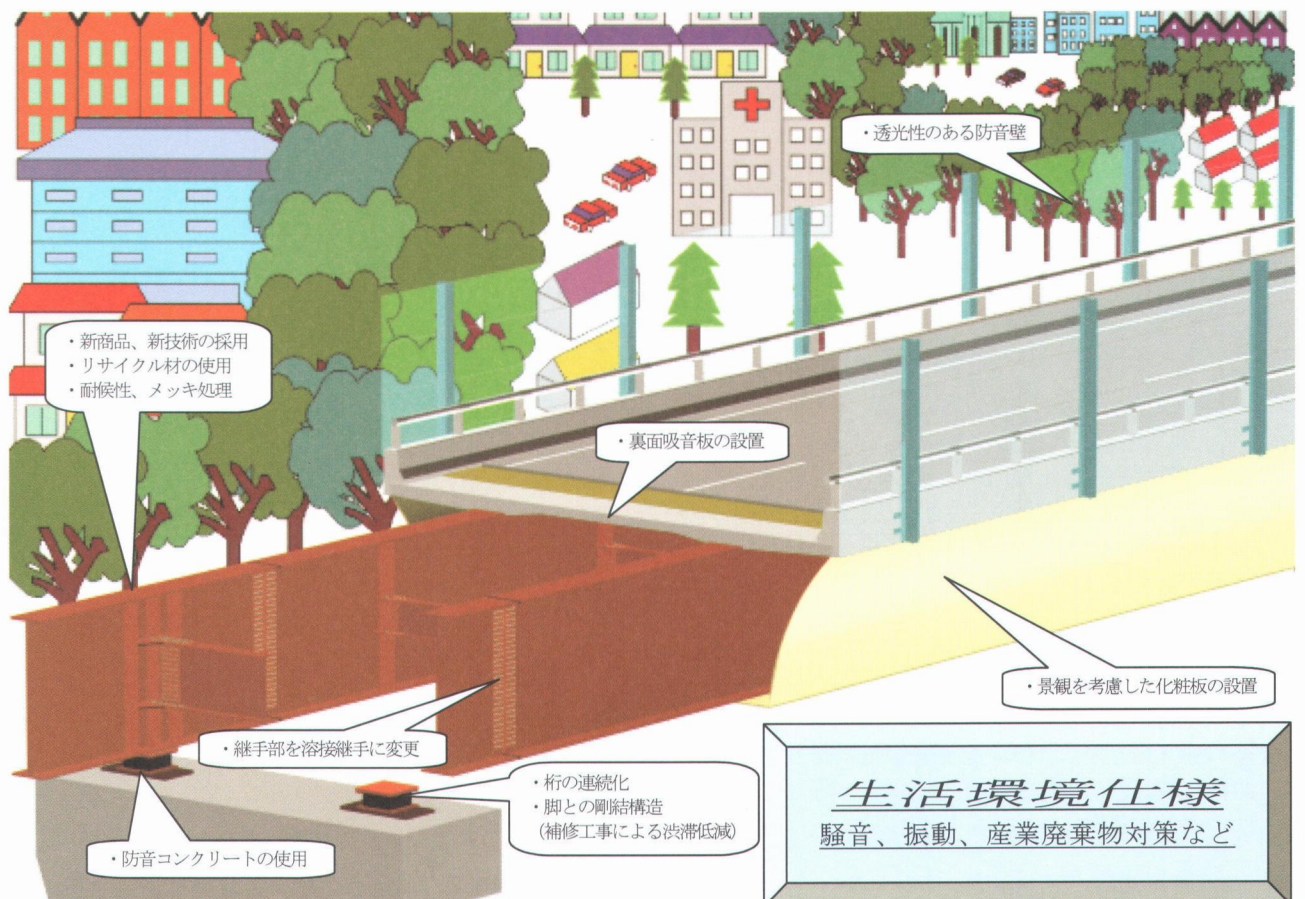


図.4 環境に優しい鋼橋の提案 (生活環境)