

## 鋼桁の主桁腹板に生じた疲労き裂の進展要因分析

国土交通省 正会員 上窪 清治 国土交通省 正会員 向井 博也  
 (株)長大 正会員 福永 昭彦 ○(株)長大 正会員 丸山 武士  
 (株)長大 正会員 山岡 大輔

### 1. はじめに

自動車専用道に位置する建設後 40 年を経過した鋼桁橋において、主桁腹板に長さ約 1.0m の疲労損傷と推定されるき裂（写真-1 参照）の発生が確認され、当て板補強等の対策が実施されている。しかし、今回着目した腹板のみ約 1.0m まで疲労き裂が進展した原因が不明であり、今後の維持管理の観点からも原因究明が求められていた。疲労き裂の進展要因の究明を行うため、疲労き裂発生箇所の当て板補強工事実施時に採取したボルト孔コアを用いて化学成分分析試験およびシャルピー衝撃試験を実施し、疲労き裂発生箇所の鋼材がシャルピー吸収エネルギー値の極めて低い JIS 規格外のリムド鋼相当の鋼材であることを確認した。そこで、全主桁腹板部材を対象に、非破壊で化学成分分析が可能な現地化学成分分析試験（PMI 試験）実施し、他の部材にも同様の鋼材が使用されていないか調査を実施した。その結果、き裂発生箇所の材料のみが特異な鋼材であり、そのような特異な鋼材であったことが疲労き裂を大きなき裂に進展させた要因であったと判断するに至った。



写真-1 き裂発生状況

### 2. 疲労き裂発生箇所の化学成分分析試験

#### 2. 1 化学成分分析試験

当て板補強工事実施時に採取したボルト孔コア（φ16mm）を用いて化学成分分析試験を実施した。なお、分析方法は、JIS G 0321-2002「鋼材の製品分析方法およびその許容変動値」に基づき、定量分析を行った。

#### 2. 2 結果および考察

以下の表-1 に化学成分分析結果を示す。この結果から以下のことがわかった。

- ①炭素含有量(C:0.28%)は、建設当時における JIS 規格の SM50A の許容値を超過しており、C 量が高い鋼材であった。
- ②脱酸剤の Si 含有量(0.03%)が極めて少なく、脱酸不十分な鋼材に相当している。Si 添加が極端に少ない、リムド鋼相当の鋼材であると判断できる。
- ③不純物の P, S 含有量は、SM50A の規定値(P,S:0.040%以下)に近い、非常に高い値となっている。

表-1 コア試料の化学成分分析結果

分析試料	化学成分 (wt%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
φ16コア試料	0.28	0.03	1.05	0.036	0.027	0.02	0.03	0.02	≦0.02	0.003
JIS規格 SM50A (SM490A)	≦0.20	≦0.55	≦1.60	≦0.040 (≦0.035)	≦0.040 (≦0.035)	—	—	—	—	—

### 3. 疲労き裂発生箇所のシャルピー衝撃試験

#### 3. 1 シャルピー衝撃試験概要

当て板補強工事実施時に採取したボルト孔コア（φ16mm）から試験供試体を作成し、JIS Z 2242「金属材料衝撃試験方法」に基づきシャルピー衝撃試験を実施した。なお、試験供試体は、φ16mm のコア試料を直方体に切り出し、試験用つかみ代の継ぎ足し材と E.B.W 溶接（電子ビーム溶接）により接合したものを作成した。ただし、コア試料の大きさの制約から、試験片はサブサイズ試験片（7.5mm×10.0mm）とした。

キーワード 鋼桁橋, 疲労き裂, 化学成分分析試験, シャルピー衝撃試験, 現地化学成分分析試験

連絡先 〒550-0013 大阪府大阪市西区新町2丁目20番6号 (株)長大 西日本構造事業部 TEL06-6541-5795

使用した試験片はサブサイズ試験片であることから、以下の算出式により、通常の4号試験片(10mm×10mm)で実施した場合の吸収エネルギーを推定することとした。

$$(\text{吸収エネルギー換算値}) E = (\text{吸収エネルギー実測値}) E' \times (10/7.5) \text{ (J)}$$

### 3. 2 結果および考察

図-1は今回実施したシャルピー衝撃試験結果を用いた遷移曲線であるが、参考として、同様の大きなき裂が発生した米国のLafayette Street橋主桁腹板における遷移曲線<sup>1)</sup>を併記している。本橋の大きなき裂発生箇所から用いられていた鋼材がSM490B材におけるシャルピー吸収エネルギー値の規定値である0℃、27Jを確保できる温度は40℃以上である。Lafayette Street橋での試験結果の値と比較しても、シャルピー衝撃値がかなり小さい結果となっている。本橋のき裂発生箇所から採取された鋼材は常温脆性を有する材料であったと考えられる。

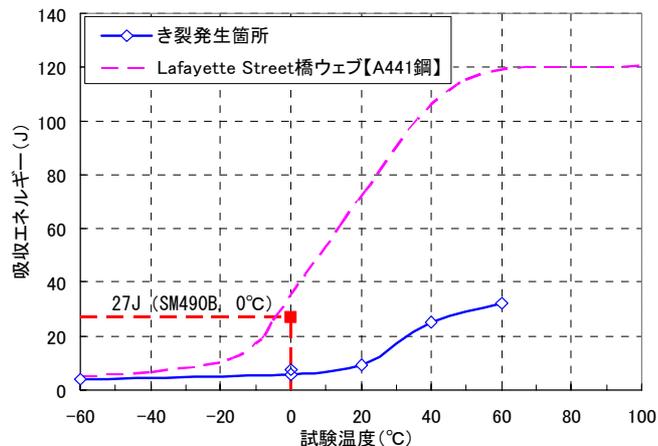


図-1 コア試料のシャルピー衝撃試験を用いた遷移曲線

## 4. 現地化学成分分析試験

### 4. 1 現地化学成分分析試験概要

前項に記述したように、疲労き裂発生箇所においては、常温脆性を有するリムド鋼相当の鋼材が使用されていると考えられ、本橋の安全性を確認するためには、他の部位に同様の鋼材が使用されていないかの確認が不可欠であると判断した。そこで、現地にて非破壊で鋼材の化学成分分析を実施できる現地化学成分分析試験(PMI (Positive Material Identification))により、同様の鋼材が使用されているかの有無を確認した。試験概要を以下に示す。

- ①使用機材：可搬型発光分光分析装置 (PMI MASTER PLUS)
- ②測定実施元素：Ce<sub>q</sub> 値・PCM 値算出元素の C, Si, Mn, Cu, Ni, Cr, Mo, V の 8 元素とする。
- ③試験箇所：全主桁腹板の鋼材 (部材毎) 12 部材/主桁×4 主桁=48 箇所

### 4. 2 結果および考察

現地化学成分分析試験の結果から、以下のことが明らかとなった。

- ①C 含有量は、48 箇所中 13 箇所 SM50A の規定値である 0.20% を超える箇所が存在する。
- ②脱酸材である Si の含有量は、大きなき裂が発生した箇所では、0.0151%~0.0438% であったが、それ以外の箇所においては、0.226%~0.352% であった。
- ③コア採取による化学成分分析結果と現地化学成分分析結果を比較すると、含有量に一定の誤差はあるが、特異な結果 (炭素およびケイ素含有量) は同様の傾向を示しており、本試験法の妥当性が確認できた。

## 5. まとめ

今回の試験結果から、本橋主桁腹板の疲労き裂は、下記要因により大きなき裂に進展したと推測できる。

- ①設計図書に示される SM50A 材の JIS 規格 (材料成分) を満足しない鋼材 (炭素含有量) であり、脱酸材である Si (珪素) 含有量が極端に小さいリムド鋼相当であった。
- ②シャルピー吸収エネルギー値が著しく低い、常温脆性を示す鋼材であった。

また、現地化学成分分析の結果、上記に示したような特異な鋼材はき裂発生箇所のみで使用されており、他の部材とは明らかに異なる材質の鋼材であったと言える。

## 6. 謝辞

本検討にあたり、北田俊行 大阪市立大学名誉教授、ならびに坂野昌弘 関西大学教授にご指導を頂くとともに、貴重なご意見を頂きました。ここに記して感謝いたします。

**参考文献** 1) John.W.Fisher：鋼橋の疲労と破壊、昭和 62 年 9 月