

2、現状調査

構造用鋼板の歪時効による靱性の研究にあたり、基準、文献、既往の研究等の調査と近年の構造用鋼板の靱性値に関する現状調査を行った。

2-1 基準

鋼橋に使用される鋼材の歪時効に関する基準としては、「道路橋示方書」に記載されているのみである。

表 2-1 基準調査結果

基準	規定値	備考
道路橋示方書	曲げ半径 15 t 以上 (3%歪以下)	

2-2 既往の研究

冷間加工による鋼材の靱性値変化について、堀川(1977)は SM400、SM490、SM490Y、SM570、HT80 において、5%歪時効材の靱性値についてシャルピー吸収エネルギー値にての研究をおこない、脆性破壊の考慮が必要な 13mm 以上の主要引張部材については、冷間曲げの規制は必要であり、これらによることが困難な場合には、歪時効試験を行い、シャルピー値を確認することが必要としている。

また堀川(1980)は、トラフリブを念頭においた歪時効材(3~20%)のシャルピー値の変化を研究した。これによると、余歪によるシャルピー値の低下の影響は規格、成分系、熱処理型を問わず歪時効脆化の傾向は小さくないとし、SM400B、SM490B、SM490YB に関しては、余歪3%が冷間加工の許容値についての目安となる値で、道路橋示方書の規定と一致するとしている。

また、三木(1990)らは、歪時効処理を行った SM400B と SM520B の鋼材について、シャルピー試験と、CTOD 試験を実施し、両試験結果の特性の相違を検討し CTOD 試験の優位性を明らかにした上で、シャルピー値と CTOD 値の相関式の妥当性について、検討と靱性値の評価を行っている。

なお、シャルピー値と CTOD 値との相関に関する研究としては、萩原(1976)らがシャルピー吸収エネルギー遷移曲線と CTOD 遷移曲線のシフト量を、歪速度、板厚効果を考慮して与えている。さらにアッパーシェル領域では、吸収エネルギー VE の代わりに遷移領域で成り立っている直線の延長上での値 VE* を用いることを提案している。

そのほか松岡(1977)らはシャルピー吸収エネルギーとCTOD値の相関式において、鋼材の強度、板厚に加えて、亀裂長さと作用応力を取り入れることで、さらに高精度にCTOD値を推定できるとしている。

金沢(1982)らは、CTOD値、シャルピー値のばらつき、および両者の相関関係の不確実性を確率的側面から明らかにし、CTOD値推定式に統計的な安全率を取り入れることを提案している。さらに木内(1983)らは、CTOD値の温度依存性を取り入れて相関性の検討をおこなっている。

また、相関式としては、WES3003「低温用圧延鋼板判定基準」G種における相関式(1983)、ならびに日溶接協会RTW委員会の提案式等がある。

2-3 参考文献・基準

- 1 道路橋示方書・同解説
- 2 堀川浩甫：構造用鋼板の歪時効
土木学会第32回年次学術講演会(S52,11)
- 3 堀川浩甫：冷間加工に伴う構造用鋼材のひずみ時効脆化
土木学会論文集第300号(1980,8)
- 4 森好生、塩崎正隆、三木千寿、栗原正好：歪時効による鋼材の靱性変化の評価
土木学会構造工学論文集VOL. 36A(1990,3)
- 5 萩原行人、征矢勇夫、三波建市、佐藤光雄：Vシャルピー衝撃値からの脆性破壊発生特性の評価法 溶接学会誌第45巻 第8号(1976)
- 6 松岡雅典、笠松裕：2Vシャルピー衝撃試験の破面遷移温度とSOD試験による破壊陣性値との相関 溶接学会誌 第46巻 第11号(1977)
- 7 金沢武、町田進、吉成仁志：限界COD値評価の信頼性工学的検討
日本造船学会論文集 第150号(1982)
- 8 木内、青木：ばらつきを考慮した限界COD値とVシャルピー値
破面遷移温度の相関 溶接学会論文集 第1巻 1983 8号
- 9 WES 3003-1983 低温用圧延鋼板判定基準：日本溶接学会
- 10 WES 2805-1980 溶接継手の脆性破壊発生に対する欠陥の評価方法
：日本溶接学会
- 11 BS 5762-1979:Crack Opening Displacement(COD)Testing

2-4 現状調査

2-4-1 製作の現状

鋼橋の実製作において、「道路橋示方書」の曲げ加工の規定を越えた設計製作の現状調査を行った。調査結果は表2-2～3に示す。

表2-2 曲げ加工調査結果（設計・製作）

部 位	曲げ半径	備 考
トラフ部材（コーナー部）	曲げ半径 5 t 程度	
橋脚（柱コーナー部）	歪 量：3.2～4.7%	表2-3 参照
橋梁（下フランジコーナー部）	歪 量：5.5%	”

表2-3 曲げ加工調査結果（具体例）

NO	客 先	材質（板厚）、歪量	構造形式	施工時期
1	阪神高速	SM570Q(38)、3.8% SM520B(38)、3.8%	橋脚（柱）	1988
2	”	SM570Q(41)、4.1%	”	”
3	”	SM570Q(34)、3.7% SM520B(36)、3.7%	”	1989
4	”	SM570Q(45)、4.7% SM490YB(29)、3.0%	”	1990
5	”	SM520B(36)、3.7%	”	1991
6	名古屋高速	SM570Q(46)、3.2%	”	”
7	関西空港	SM490YC(45)、4.5%	”	”
8	運輸省	SM490YB(22)、5.5%	箱桁下フランジ	”

調査結果、トラフ部材以外の橋脚、橋梁については事前に歪時効試験を実施しシャルピー値の確認を行った上で製作を実施している。

なお、この場合の判定基準はJIS規格の規定値以上となっている。

2-4-2 構造用鋼材の靱性値調査

鋼橋の製作に用いられる鋼材の品質は、製鋼技術の向上よりJIS規格に比べかなり高いと考えられ、平成3～5年度に橋梁材として購入した鋼材のミルシートの靱性値についての現状調査を行った。

(1) 靱性規格値

鋼橋に用いる構造用鋼板の規格はJIS規格鋼材であり、その靱性値については、シャルピー値が用いられており、その規格は表2-4の通り。

表 2-4 JIS規格における靱性規格値(シャルピー値)

鋼 種	シャルピー値(J)	試験温度	備 考
SM400B、490B、490YB、530B	27.5	0° C	
SM400C、490C、490YC、530C	47.1	0° C	
SM570Q	48.1	-5° C	

(2) 鋼橋の使用鋼材実績

鋼材の靱性値調査に先立ち、橋梁材として使用される鋼材の鋼種毎の割合を平成3～5年の製作物件より調査を行った。調査物件数は28件で構造毎に分類した。調査結果は表2-5、図2-1参照。

表 2-5 構造形式による各種鋼材の使用実績割合

構造形式	1桁	箱桁	鋼床版	ア-系	橋脚	全体平均	
橋梁物件(件)	8	6	7	2	5	28	
合計重量(t)	1,467	4,340	6,390	1,252	2,162	15,811	
平均重量(t/件)	183	723	913	626	432	2,878	
割 合 %	SS400	29	35	49	8	10	32%
	SM400A	2	0	3	32	0	4%
	SM400B	0	0	0	0	1	0%
	SM400C	0	0	0	0	0	0%
	SM490YA	43	49	33	0	3	32%
	SM490YB	22	24	9	0	23	16%
	SM520B	2	0	1	60	9	7%
	SM520C	0	0	4	0	0	2%
	SM570Q	1	0	0	0	53	8%

調査結果、今日の橋梁ではSM490Y材が重量比で約50%を占め、SS400が30%程度使用されている事が分かった。シャルピー値の規定がある鋼材（B、C）は33%程度を占めることが分かった。

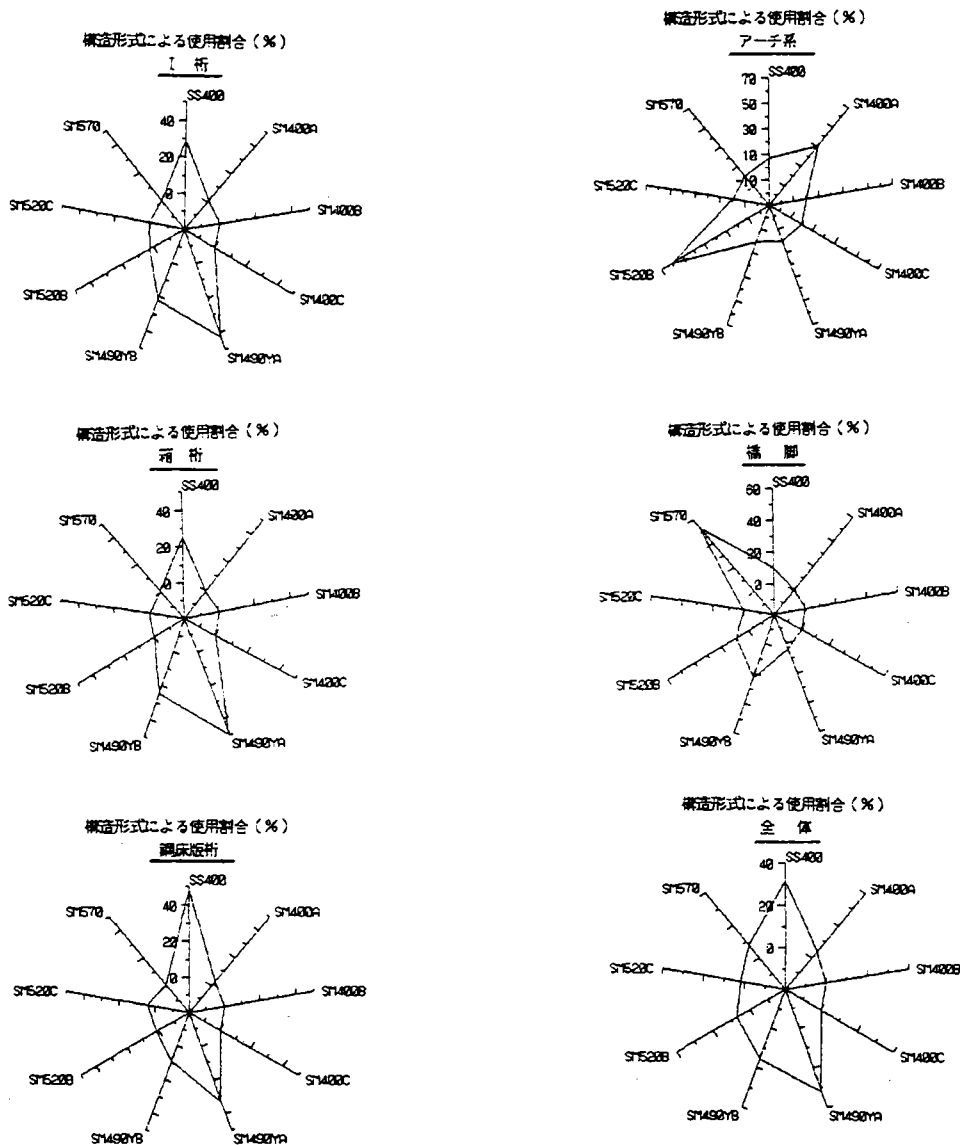


図 2-1 構造形式による各種鋼材の使用割合

(3) 鋼材の靱性値調査結果

鋼技研メンバー各社の平成3年～5年に購入使用された鋼板のうち、靱性値（シャルピー値）の規格があるB、C材の現状調査を行った。なお、SM400B、C材ならびにSM520Cについては、使用頻度が少ないために資料データが少なく、データの信頼性に多少問題が残るが、傾向は他鋼種と比較すれば十分判断できると考えられる。なお、鋼材メーカーは高炉メーカー4社のものを用いた。

各種鋼材の衝撃値（シャルピー値）調査結果は以下の通り。

表2-6 各種鋼材のシャルピー値調査結果

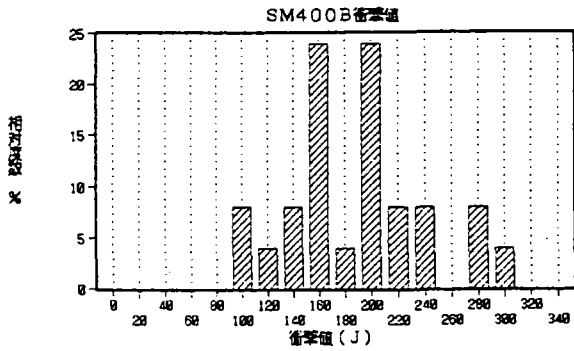
鋼種	平均値	標準偏差	資料数	備考
SM400B	197.5J	51.3J	25	
SM400C	215.3J	37.8J	19	
SM490YB	208.0J	41.3J	537	
SM520B	197.3J	37.2J	53	
SM520C	218.0J	28.7J	10	
SM570Q	278.4J	27.8J	123	

各鋼種毎のシャルピー値のヒストグラムは図2-2参照。

調査結果、調質鋼であるSM570Qが靱性値（シャルピー値）が平均278.4Jと一番高く調質鋼以外では、平均200J程度という結果となった。標準偏差は、30J～50J程度であり、資料数の多いSM490YBを統計学的信頼性で採用するとしたら、標準偏差は40J程度と考えられる。

また、橋梁用鋼材として、使用頻度の高いSM490YBについては、資料も多く入手出来たため、板厚毎の分布と、同一鋼塊における分布についても調査を行った。

この結果板厚が薄くなるほどシャルピー値の分布幅が大きくなっている事と、同一鋼塊では製鋼メーカーによっても差もあり、最大100J程度の幅でばらつきが発生する可能性が分かった。表2-7、-8および図2-3参照。

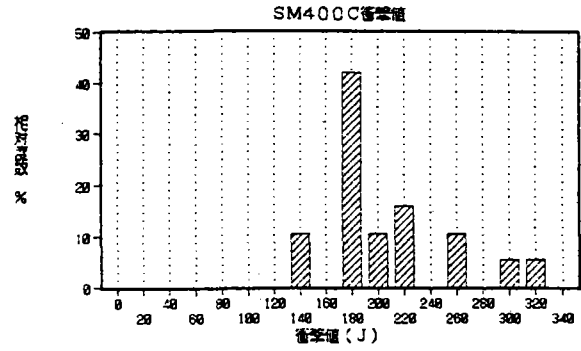


シャルピー値平均 : 197.5J

標準偏差 : 51.3J

資料数 : 25

① SM400B

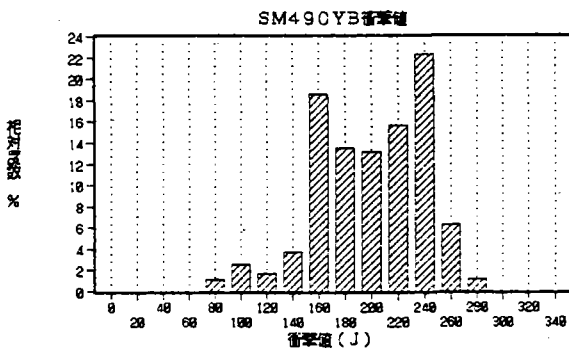


シャルピー値平均 : 215.3J

標準偏差 : 47.8J

資料数 : 19

② SM400C

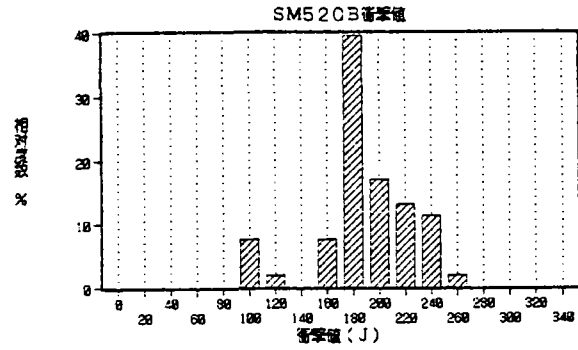


シャルピー値平均 : 208.0J

標準偏差 : 41.3J

資料数 : 537

③ SM490YB

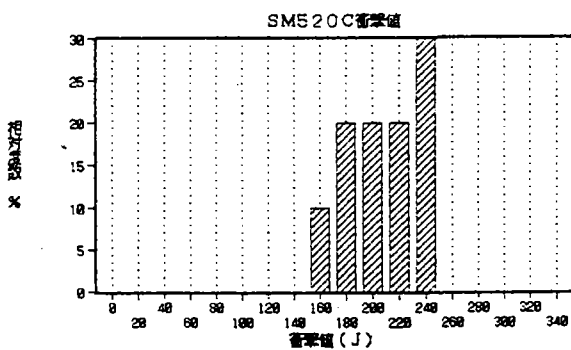


シャルピー値平均 : 197.3J

標準偏差 : 37.2J

資料数 : 53

④ SM520B

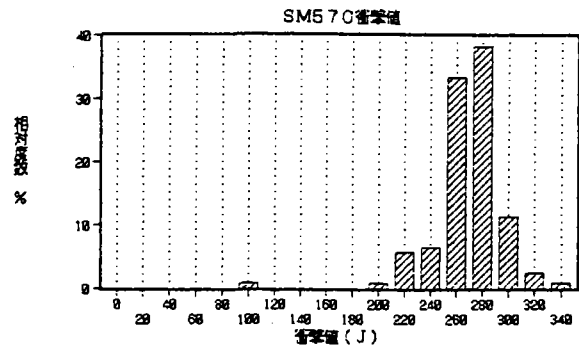


シャルピー値平均 : 218.0J

標準偏差 : 28.7J

資料数 : 10

⑤ SM520C



シャルピー値平均 : 278.4J

標準偏差 : 27.8J

資料数 : 123

⑥ SM570Q

図2-2 各種鋼材のシャルピー値 (調査結果)

表 2-7 板厚毎のシャルピー値調査結果 (SM490YB)

鋼板板厚	シャルピー値 (最低～最高)	板枚数	備考
17	119 ~ 295J	19	
18	100 ~ 263J	73	
19	87 ~ 286J	106	
20	110 ~ 267J	19	
21	95 ~ 246J	28	
22	110 ~ 277J	76	
23	115 ~ 277J	15	
24	130 ~ 256J	24	
25	145 ~ 271J	49	
26	163 ~ 266J	16	
27	160 ~ 266J	15	
28	155 ~ 295J	51	
29	168 ~ 279J	3	資料不足
30	170 ~ 260J	18	
31	160 ~	1	資料不足
32	166 ~ 267J	24	

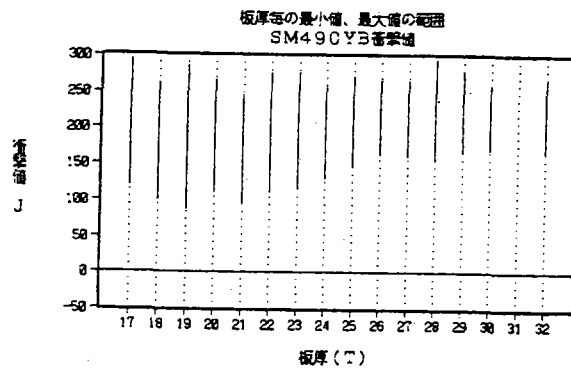


図 2-3 シャルピー値分布範囲 (SM490YB)

表 2-8 同一鋼塊でのシャルピー値の分布状態 (SM490YB)

衝撃値分布 (J)	A社	A社	A社	A社	A社	B社	C社	D社	D社	D社	備考
0-19											
20-39											
40-59											
60-79											
80-99		1									
100-119	7	1									
120-139		2									
140-159		1		2							
160-179		1	9		17						
180-199			9	4							
200-219	3		13	7							
220-239			8			12	1	3	8	11	
240-259			1				2	11	45	21	
260-279							2			11	
280-299											
300-319											
320-339											
340-359											
板枚数 (枚)	10	6	40	13	17	12	5	14	53	43	213
重量 (kg)	40327	21322	94885	49164	38619	30934	37552	25623	224139	212038	774603
板厚 (mm)	18~22	18~23	19~32	19~22	17~27	18~24	20~28	22~30	18~30	22~30	17~32

2-5 歪時効現状調査結果

歪時効に関する現状調査結果、以下の事が分かった。

- ① 橋梁材に使用する J I S 規格鋼板において、歪時効に関する規定（3%歪）外で使用されているものとしては、鋼床版桁に採用されている「トラフリブ」以外には非常に少ない。

この規定外で施工を行う場合は所定の歪時効材にてシャルピー確認試験で、J I S 規格値以上である事を確認して施工をおこなっている。（素材におけるシャルピー値が高いため、歪時効による靱性の低下はあるものの、規定外の歪量でも J I S 規格を十分クリアーしている。）

- ② また、近年の高炉メーカーにおける構造用鋼板材のシャルピー値調査結果としては、調質鋼の S M 5 7 0 Q が 2 8 0 J 程度と非常に高く、非調質鋼でも平均 2 0 0 J 程度であることが分かった。

- ③ 鋼材の靱性値の評価方法として、シャルピー値の他に破壊力学的な C T O D 値のほうがより優位であることが、既往の研究で明らかになっており、歪時効材における研究では余歪量が 7.5%より小さい場合、母材部では板厚の半分以下の表面欠陥であれば、 -10°C で降伏強度に近い引張応力が働いても脆性破壊の発生の危険性は低いことが報告されている。（参考文献-4）