

大形支承製作上における問題点について

阪神高速道路公団 笹戸 松二
河井 章好
水元 義久
○林 秀侃

1. はじめに

近年の橋梁の長大化に伴い、支承も大形化する傾向にある。そのため今まで取上げられなかった点にも問題が生じてきた。そこで大形支承の問題点と、その解決法を港大橋の中間支承を例として述べてみる。この支承は1組重量約200tと大形で、しかも高精度を要求されるものである。さらに後述するような理由で高強度の材料を使用しているという特長を持っている。

2. 設 計

長大橋では支点に作用する上部工反力は大きく支承も大形化し、それに伴い鋼材の肉厚が厚くなり内部まで調質効果が行きわたらないといった質量効果の問題を生じるので、使用材料の選択とあわせて、支承の設計には、この点に対する配慮が必要となる。

設計における第一の方法は従来からよく使われている低強度の鋼材により部品を構成する方法で、第二の方法は高強度の材料を使って支承の小形化を図る方法である。第一の方法によれば必然的に支承は大形化し、全断面有効として計算している設計法に疑問が生じてくること、つまり応力の伝達が不明確になること、また製作・架設時のハンドリングの困難なことが問題となる。そこで港大橋では第二の方法によることにした。この場合、支承の底面積は橋脚コンクリートの支圧強度に支配されるので沓座を使用し、この問題を解決した。この結果、支承は図-1および表-1に示すようになった。なお参考として設計に使用した上部工からの荷重を表-2に示す。

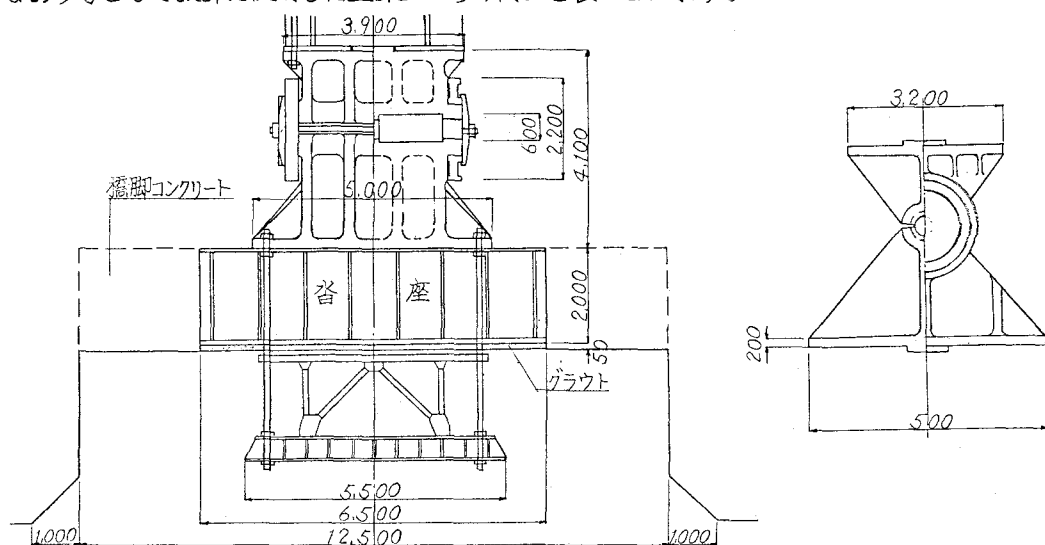


図-1 支承概略図

表-1 支承材料表

名 称	材 質	数 量	重 量 (kg)
上 沓	SCMn2A	1	53,921
下 沓	"	1	112,214
ピ ン	SF55	1	7,196
リ ン グ	SNC3	2	7,138
セットボルト	"	20	9,739
アンカーボルト	"	22	22,031
そ の 他	"		6,062
計			218,301

表-2

$R_x = 2,500t$	注 X方向 橋軸方向 Y方向 鉛直方向 Z方向 橋軸直角方向
$R_y = 15,700t$	
$R_z = 3,300t$	
$M_x = 6,800tm$	
$M_y = 600tm$	
$R_y' = -1,700t$	

3. 製 作

大形の鍛鋼品の例としては、ロールスタンド、ラダーストック、タービン関係品といったものがあるが、形状は比較的シンプルなものである。しかし支承沓の場合、何枚かのリブで構成されるので形状はこれらより複雑となり、また港大橋では設計で述べたように高強度の材料を使用したので、支承の製作にあたっては次のようなことが問題となったのでこれについて記す。

3-1 沓の製作

下沓は低合金鋼SCMn2A材であるので、成分調整が有利な電気炉による方法を指定した。そして単品で約110t（仕上り重量）もあるので、各社の電気炉能力を調べたところ単一の電気炉では製作不可能であり合せ湯は避けられない。そこで最小限度の合せ湯でまかなう方法、最近開発された大形鍛鋼品を分割鑄造しエレクトロスラグ溶接により一体結合する方法とが考えられる。この2つの方法のうちどちらの方法を採用するかを検討した結果、後者では材質の均一性に問題が残ること、過去の事例が矩形または円筒のような比較的単純な形であり沓のような複雑なものの実績がないということから前者の方法によることにした。

沓の鑄造方案の概略を述べると、健全な鑄物を得るため鑄込態位はピン受け部を下にし、脱ガスがスムーズに行なえるように湯道、押湯形状・位置を決定した。また沓はリブが交差し凝固時にはホット・スポットとなり鑄造欠陥が出やすくなるので補助リブを設け放熱面積を大きくした。さらに鑄物砂の選定にあたっては高い熱間強さが得られ溶鋼の鑄込みによる浸透型焼着きが防止できること、浸炭を防止できること、崩壊性がよいことからフランシゼンを粘結剤としたクロマイト砂によることにした。鑄込後は徐冷中の温度のバラツキと鑄型の抵抗による変形および欠陥の発生を防止するため

に鑄型の突き崩しや、局所的な冷却のコントロールを行なった。押湯切断の後、熱処理を行なったが沓の肉厚にかなり不同があり材質に不均一が生じる恐れがあるので保持時間には十分な配慮をした。その要領を図-2に示す。

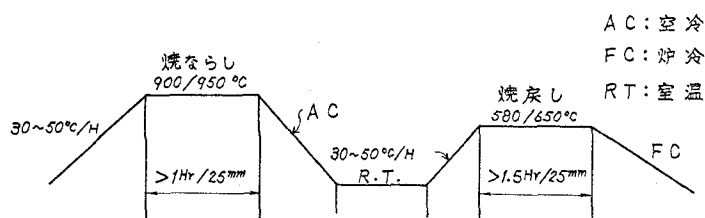


図-2 熱処理線図

3-2 部品の材質について

港大橋の支承を構成する各部品の材質は表-1に示したとおりであるが、沓（SCMn2A）、リング、アンカーボルト、セットボルト（SNC3）の材質は以下に述べるような問題点を持っている。

これらのJIS規格による化学成分と機械的性質を表-3に示す。

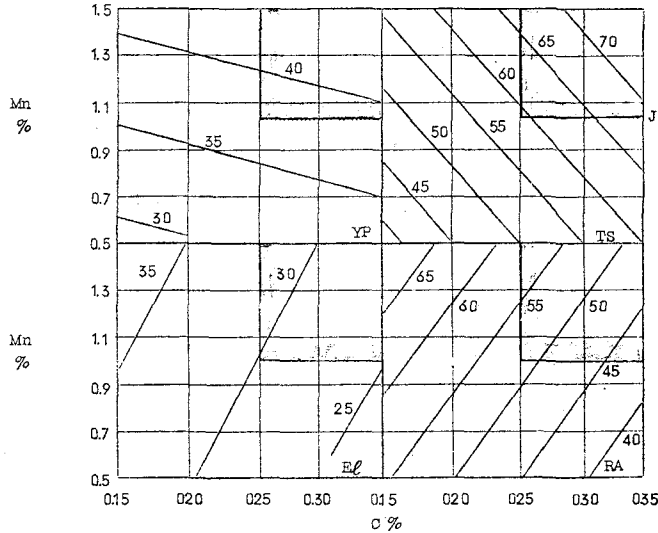
表-3 JIS規格

鋼材名	化 学 成 分 %							引 張 試 験						備 考
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	降伏点	引張強さ	伸 び	絞 り	衝撃値	かたさ	
SCMn2A	0.25 ~0.35	0.30 ~0.60	1.00 ~1.60	0.040 以下	0.040 以下	—	—	35以上	60以上	18以上	35以上	—	163以上	4号または 10号
SNC3	0.32 ~0.40	0.15 ~0.35	0.35 ~0.65	0.030 以下	0.030 以下	3.00 ~3.50	0.60 ~1.00	80以上	95以上	15以上	45以上	8以上	269 ~321	4号

3-2-1 沓の材質

沓が大形鋳鋼品であるので、熱処理作業で焼ならし後の冷却は小物の場合より徐冷されることになる。C、Mnと各材力との関係についてはいくつかの式が提案されているが、中間支承製作メーカーの研究によると焼ならし状態で下のような関係式が成り立つことがわかっている。

$Y.P. = 18.53C + 13.28Mn + 19.43$ (降伏点)
 $T.S. = 69.13C + 4.40Mn + 37.73$ (引張強さ)
 $Ee = -46.20C + 4.40Mn + 37.73$ (伸 び)
 $R.A. = -100.68C + 13.95Mn + 8.99$ (絞 り)



これらの関係を図示すると図-3のようになり、大形鋳鋼品の場合JIS規格では引張強さを満足しない場合がでてくる。そこで目標成分を表-4のようにJIS規格内の高目とすることで解決した。このようにして製作した沓の試験結果を表-5に示す。

図-3 C-Mn関係図

表-4 目標化学成分表 %

C	Si	Mn	P	S
0.32	0.30	1.25	0.03	0.03
0.35	0.60	1.60	以下	以下

表-5 沓試験結果

Y.P.(kg/mm^2)	T.S.(kg/mm^2)	Ee %	R.A. %	Hb
36.1	60.7	27.8	53.4	170
38.6	63.4	31.2	57.6	181

3-2-2 アンカーボルト、セッットボルト、リングの材質

- これらのボルトに使用を考えたJIS規格のSNC3材は、中間支承メーカーの実績によれば、
- 1) Ni含有量が多いにもかかわらず、焼入性が悪いこと。(図-4参照)
 - 2) JIS規格の機械的性質は、JIS G-303に規定する25mmの標準供試材に820~850°C.油冷、550~650°Cより急冷の熱処理を加えた時のものであること。

つまり別鍛造品による試験結果であること。

より、これらのボルト類のように直径150あるいは165mm（いずれも仕上り寸法）のボルト本体においては、JIS規格の材力を出し得ないと判断される。もし無理にJIS規格の材力を得ようとすれば550°C以下の焼戻し温度をとらねばならないが、SNC3材は顕著な焼戻し脆性を示す鋼種であり500～550°Cは焼戻し脆性を示す範囲であるので、この範囲での焼戻しは絶対に避けなくてはならない。以上のことよりボルト類は多くの実績を持つSAE 4340の改良型である表-5 Aに示すような材質で製作した。

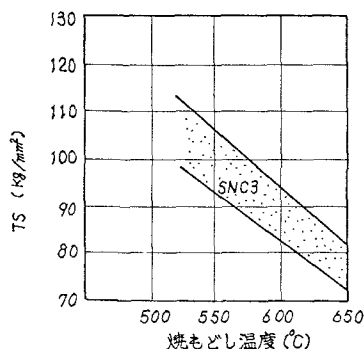


図-4 SNC3焼入性能図

またリングはボルトより更にマスが大きいため、ボルトよりNi, Cr, Moの含有量を増し靱性向上のためにC量を減じた表-5 Bに示すような材質で製作した。

これらの試験結果を表-6に示す。

表 - 5

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
A	0.35	0.15	0.60	0.03	0.03	1.60	0.60	0.40	0.15
	∫	∫	∫			∫	∫		
	0.45	0.35	0.90	以下	以下	2.50	1.00	以下	以下
B	0.30	0.15	0.40	0.03	0.03	2.50	0.80	0.50	0.15
	∫	∫	∫			∫	∫		
	0.40	0.35	0.90	以下	以下	3.00	1.20	以下	以下

表 - 6

	Y.P. kg/mm^2	T.S. kg/mm^2	Ee %	R.A. %	衝撃値 $\text{kg}\cdot\text{m/cm}^2$
A	84.0～98.4	95.5～102.0	19.0～22.9	59.8～67.0	10.0～16.8
B	83.2～87.6	95.5～105.2	19.5～23.8	62.8～69.9	11.0～17.8

このように今回は試験片は全て本体付きとし内部でも強度の保証をした。しかし大形鍛造鋼品では質量効果が大きく、現状では鋼板と同じような感覚で設計された図面で製作された構造物が設計者の意図したものと全く別物であるという結果を招くことにもなりかねない。これは別鍛造品の規格であるのに対し、道路橋示方書あるいは道路橋支保便覧では材力の適用範囲が明記されていないことに起因すると考えられる。このような現象は今回の場合に限らず示方書・便覧に示されている材料においても起こることである。これを避けるには支保の設計における保証強度を明確にし、製作にあたっては設計の意図を十分理解することの他に試験片はできるだけ本体を保証するような位置・方法を考えなければならない。

3-2-3 機械加工

機械加工は粗削り、仕上げ削りという手順で進められるが、それぞれの作業に使用する機械は作業精度と作業能率とあわせて考えて選定した。そして加工公差の設定にあたっては機能上必要な部位では機械能力の許す限り厳格にしたが、他はJIS規格を参考にして作業能率を高める方向で検討した。つまりピン径、上下沓のピン受け部の径・高さは設計上あるいは架設上精度を要するので、ピン径につ

いては+0~-0.2, 上下沓のピン受け部の径については+0.2~-0, 上下沓の高さは±1.0とした。これにより支承の高さの公差は+2.2~-2.6, 水平度は約1/800となり、これらは前述した沓座で修正可能な量である。なお実際には高さの誤差は+0.5~-2.0, 水平度は問題にならない程度でおさまった。

4. 非破壊検査

支承内部の性状を確認するため非破壊検査を次の要領で行なった。

4-1 沓

沓の機械加工面については染色探傷検査を、製品の機能上重要なR部は磁粉探傷検査をし、またピン受け部のまわりは超音波探傷検査を行なった。その判定規準は表-7のとおりである。

表-7 沓の検査判定規準

	欠陥名	ピン 嵌 合 部 機 削 面	そ の 他 機 削 面
	きれつ	不 可	不 可
染 色 探 傷 検 査	砂かみ 引 巢	不 可	欠陥を除去し、その開先大きさがガスホールと同一であれば許容
	ガ ス ホ ール	1. 径3mm、深さ3mm以上不可 2. 径1~2mm、深さ2mmのものが100×100mmに5ヶ以内であれば許容する 3. 径1mm以下は許容する	1. 径5mm、深さ5mm以上不可 2. 径2~4mm、深さ4mmのものが100×100mmに5ヶ以内は許容する 3. 径1~2mm、深さ2mmのものが100×100mmに10ヶ以内であれば許容する 4. 径1mm以下は許容する
磁粉探傷検査は、ASME SEC IIIに依る。			
超 音 波 探 傷 検 査	1. STB V15-4=50%より大きい欠陥エコーが認められ、その範囲が50mm×50mmを超える時は補修する。		
	2. 底面エコーが認められない時および50%以上減衰する時、その範囲が50mm×50mmを超える時は補修する。		

4-2 鍛鋼品

ピン, リング, ボルト類は全面超音波探傷を行なった。その判定規準は表-8のとおりである。

表-8 鍛鋼品の検査判定規準

欠陥波の現われないもの	合 格
○、⊗波形が点在し、範囲も少なく底面反射も減衰しないもの。	合 格
○、⊗波形が散在し、□波が点在するが、いずれも範囲が少なく底面反射も減衰しないもの。	欠陥の位置、性状、使用される状況を考慮し、他の試験、検査結果を勘案の上合否を決定する。
○、⊗波が連続し、□△波形が点在、または散在し、範囲があり底面反射の減衰も認められるもの。	
全面□、△、×波形のもの。	廃 却

注) 欠陥波(F)は第1回底面反射波(B1)と百分で示し、次の記号とした。

$$\bigcirc F/B_1 \leq 50\% \quad \otimes 50\% < F/B_1 < 100\%$$

$$\square F/B_1 = 100\% \quad \triangle F > B_1 \quad \times F \text{ のみ}$$

これらの検査の結果、各部品とも判定に困るような異常は見られなかった。

5. 防錆処理

支承の設置される所は大阪港の入口にあたり海水による影響が考えられることから防錆には特に注意を払う必要がある。外面の防錆法としては重要構造物であるのでメタリコン等も考えられるが再塗装が可能なので、外面は表-9に示すような塗装によることにした。ピン部については再塗装が不可

表-9 支承塗装系

	塗料	膜厚	回数	間隔
素地調整	サンドブラスト	—	1	4時間以上
工場下塗	エポキシ樹脂系塗料	60μ	1	
工場中塗	同上	60μ	1	7日以内
現場中塗	ポリウレタン樹脂塗料	50μ	1	1ヶ月以内
現場上塗	同上	40μ	1	16時間以上 7日以内

能なのでピンにはクロムメッキを施したが、上下沓のピン受け部はメッキ設備の能力の関係でメッキができない。そこでステンレス溶接棒によるオーバーレイ等を検討したが、熱影響、工費の問題があること、また構造上グリースが老化した場合圧入あるいは再塗布が可能と考えられることからグリースを充填し防水用のゴムカバーを付けることで解決した。その他ネジ部はグリース塗布によった。

6. 架設

支承の架設法としては支承が大形であることから現地で組立てることも考えられるが、各部品の精度が高くクリアランスが微小なので高度な熟練工を必要とするので、機械設備・熟練工が揃っていること、作業環境がよいこと等から工場で一体として現地に搬入し、フローティングクレーンにより架設した。これにより現地での複雑な作業が省略できたが、これも支承の小形化によるものと考えられる。

また沓の下面は面接触を確保するため通常みぎき出しを行なうが、底面積が大きいことから大変な労力を要する。そこで大形フェーシングマシンにより所定の精度に仕上げられた沓座とのメタルタッチによる応力伝達を採用することにより精度の確保と省力化に大いに効果があった。さらに沓座の据付けにあたっては沓座に支承を載せ高さをアンカーボルトのナットにより調整した後、図-1のように50mmの部分に無収縮モルタルを充填した。これにより応力伝達の均一化を確実にしたわけであるが、通常問題となるモルタルの老化は橋脚コンクリートに包まれるので防げ、また破壊に対してもコンクリートに拘束されるので安全と考えられる。

7. おわりに

以上簡単に港大橋の支承を例として大形支承の製作上の問題点を述べたが、特記すべきことは小形化による利点が多いこと、質量効果による影響が多いことである。今後このような事例がふえると思われるが、個々の点においては今回よりさらに良い解決法があると考えられる。たとえば検査方法とその判定基準あるいは防錆処理においてである。また製作の項で述べたように質量効果に対する判断基準を何らかの形で示す方向で努力すべきであると考えられる。