

鋼桁の連続化・箱桁化に関する設計について(坪の内高架橋)

Making Steel Plate Girders into Continuous Box Girders (Tsubonouchi Viaduct)

山田 豊*¹ 岩井 政光*² 鈴木 松雄*³ 高橋 亘*⁴
Yutaka YAMADA Masamitsu IWAI Matsuo SUZUKI Wataru TAKAHASHI

Summary

The lanes of the Tsubonouchi Viaduct each consisted of eight simple, composite, steel plate girders. The bridge was reinforced in recent years as traffic volume grew, by adding girders, installing stringers and replacing some expansion joints and bearings. But different pavement levels at the ends of girders, caused by abrasion, together with the obsolescence of expansion joints, was a source of bridge vibration and noise when traffic was present.

The principal bodies of the steel plate girders of the viaduct were made into four-span continuous box girders, to reinforce them. Also, the expansion joints that caused vibration and noise were removed to make the deck a jointless deck. This paper describes the work.

1. まえがき

本橋は、神奈川県伊勢原市に位置する東名高速道路初期の橋梁であり、上下線分離構造の8連鋼単純合成鉄桁である(図-1)。

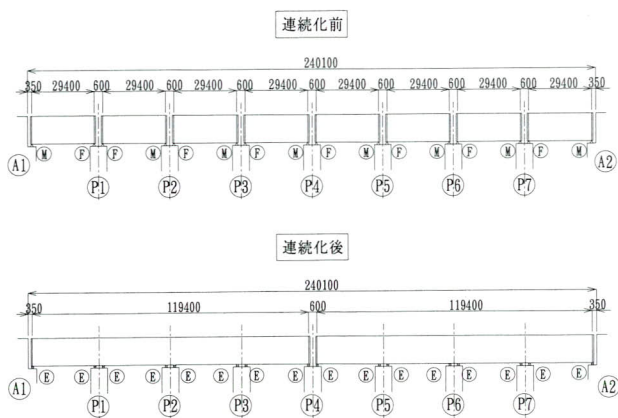


図-1 側面図

共用開始から既に二十数年が経過しており、この間車両の大型化および交通量の増加に伴い、現在に至るまで主に床版に関する補強縦桁増設工事や三車線化のための拡幅工事、また部分的な伸縮装置や支承の取替えが行われてきた。しかしながら現在でも桁端部における舗装の

磨耗による段差が生じ、また伸縮装置の老朽化により交通下での振動・騒音の原因となっている。

本工事は、鋼桁本体の補強工事として4径間毎に連続構造(図-2)とし同時に床版のノージョイント化を行い、加えて中央分離帯側の2主桁を箱桁構造(図-3)として橋体構造の剛性を向上させ、車両の大型化に対応するものである。同時に伸縮部を撤去し、振動・騒音の低減をめざすものである。

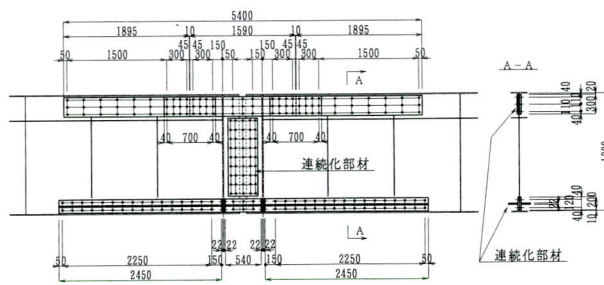


図-2 連続化

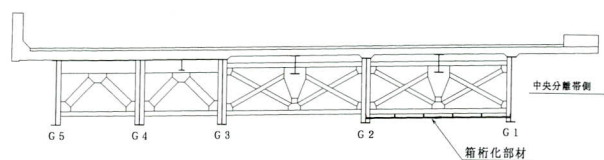


図-3 箱桁化

*1技術本部技術部技術課

*2宮地建設工業(株) 橋梁構造事業部工事部総括作業所長

*3技術本部設計部設計第一課

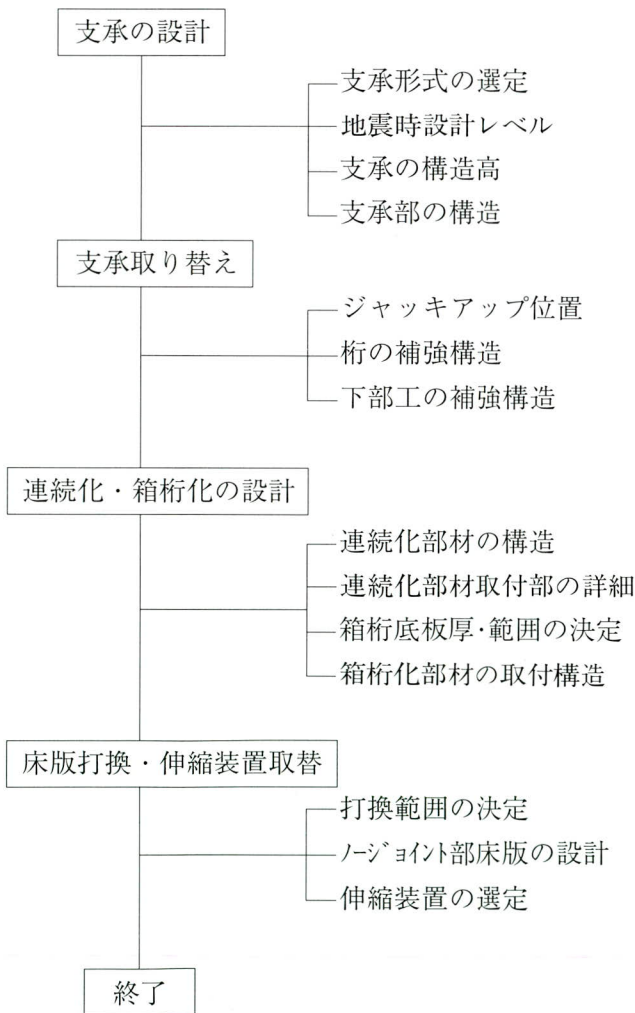
*4技術本部技術部次長

2. 連続化・箱桁化

鋼桁の連続化は、単純桁どうしを連結することにより連続桁とし、支間中央の最大曲げモーメントを低減する補強工法である。この工法には、主桁どうしを連結する主桁連結工法や端横桁どうしを連結する横桁連結工法があるが、応力伝達の明確な主桁連結工法を採用した。

鋼桁の箱桁化は、隣接する主桁を底板にて連結し、ねじれ剛性を高めると共に断面性能を向上する補強工法である。坪の内高架橋は、幅員拡幅により3本主桁から5本主桁となった経緯もあり、鋼桁剛度のバランスに応じた最効率的な断面補強として、図-3に示すように中分側の主桁2本のみ箱桁化することとした。

3. 設計フローチャート



4. 設計内容

(1) 支承の設計

1) 支承形式の選定

桁移動量は、鋼桁の連続化および床版のノージョイント化により増加し、また復旧仕様による地震時移動量の増加から本工事では、線支承（一部BPA支承）をゴム支承に取替えることとした。

ゴム支承に取替える場合、免震支承および反力分散支承が考えられるが、RC脚の地震時保有水平耐力の照査を行ったところ、どちらを採用してもRC脚の補強は必要であり、また反力分散支承を用いた場合でも補強は可能であることが判明した。

そこで、反力分散支承を採用することとした。

2) 設計レベル

支承の設計は、地震時の設計レベルによって積層ゴムのサイズや支承高が決定される。

本橋では、桁下空間が極めて少ないこと（min 122mm）や沓座面をはつっても下部工主鉄筋は切断しないことから、地震レベルを次の6ケース設定し、支承高を算出、設置可能な最大レベルにより支承の設計を行った。

- ・ L 1 レベル ($\gamma \leq 250\%$)
- ・ L 1 レベル ($\gamma \leq 400\%$)
- ・ L 2 レベル ($\gamma \leq 250\%$) ← 決定ケース
- ・ L 2 レベル ($\gamma \leq 400\%$)
- ・ L 3 レベル ($\gamma \leq 250\%$)
- ・ L 3 レベル ($\gamma \leq 400\%$)

3) 支承部の構造

ソールプレートは、主桁下フランジにセットボルトにより取付けることとした。これは、溶接構造の場合、繰り返し荷重による溶接部の亀裂が報告されているからである。

アンカーボルトは、既存のアンカーボルトを利用し、不足分のアンカーボルトを追加した。これは、現場作業の効率化を図ると共になるべく下部工に損傷を与えないためである。

またアンカーボルトは、ベースプレートに溶接し上面に出ない構造とし、ベースプレートと下沓は溶接構造とした。桁端は、移動量の確保が困難な箇所に限り切断を行ったが、切断量が異なるため支承位置は、一定しない。そこで支承位置が調整できるよう支承とアンカーボルトを直接連結せず、アンカーボルトをベースプレート上面

に突出しないよう溶接し、支承セット後ベースプレートと下沓を溶接することとした。(図-4)

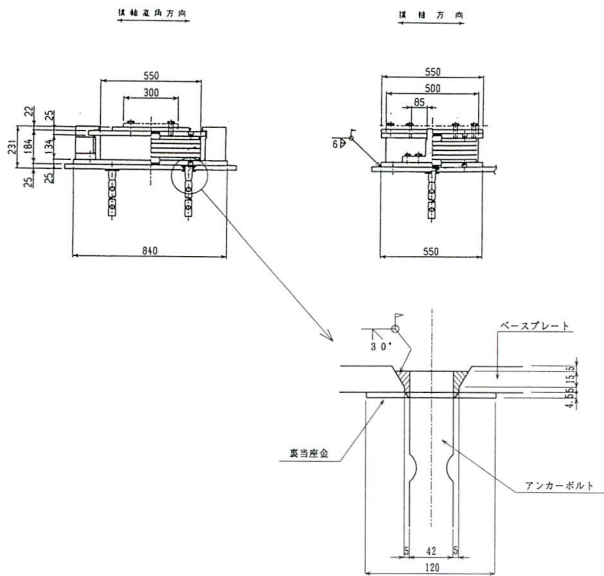


図-4 分散ゴム支承

(2) 支承の取替

1) ジャッキアップ位置

ジャッキアップ位置は、主桁間に仮受桁を取付けて行う案が考えられたが、下横構や検査路、補強縦桁受け材など障害物が多く、撤去・改造に時間がかかるため、主桁下フランジを直接ジャッキアップする方法とした。

桁下空間の少ない本橋では、下部工のカブリコンクリートをはつっても、既存のジャッキでは設置不可能であり、機高の低い油圧ジャッキ(図-5)を開発し用いることとした。

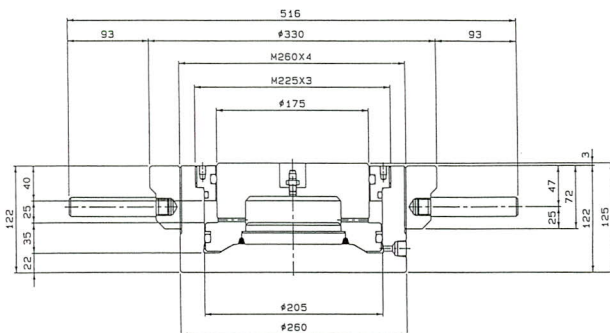


図-5 油圧ジャッキ (200 tf)

2) 桁の補強構造

ジャッキアップに伴う主桁の補強は、T型部材を腹板両面に添接し下フランジ面は、メタルタッチとした。

補強部材は、連続材および箱桁部材の設置に干渉するため、施工完了後は、上側に移動することとした。(図-6)

3) 下部工の補強

橋脚は、過去に3車線拡幅に伴うコンクリート巻き工事を行っており、ジャッキアップ位置が拡幅部にあたる。そこで、補強について次の2ケースを検討した。

①PC鋼棒による補強。

②ケミカルアンカーによる補強。

この結果、①のケースでは、6本/沓、②のケースでは、24本/沓必要であり、現場の施工性・経済性から①による補強を採用した。(図-7)

橋台部では、仮受用鋼製ブラケットをケミカルアンカーにて定着した。(9本/沓必要)(図-8)また、ジャッキアップ位置に余裕がないことやSE量をより確保するためコンクリートによる再拡幅を考えていたが、旧拡幅部を撤去しなくてはならず、また現場での施工性・工程より、鋼製ブラケットを用い、ジャッキアップの仮受点とした。また鋼製ブラケットにより、さらに多くのSE量を確保できる事となった。

(3) 連続化・箱桁化の設計

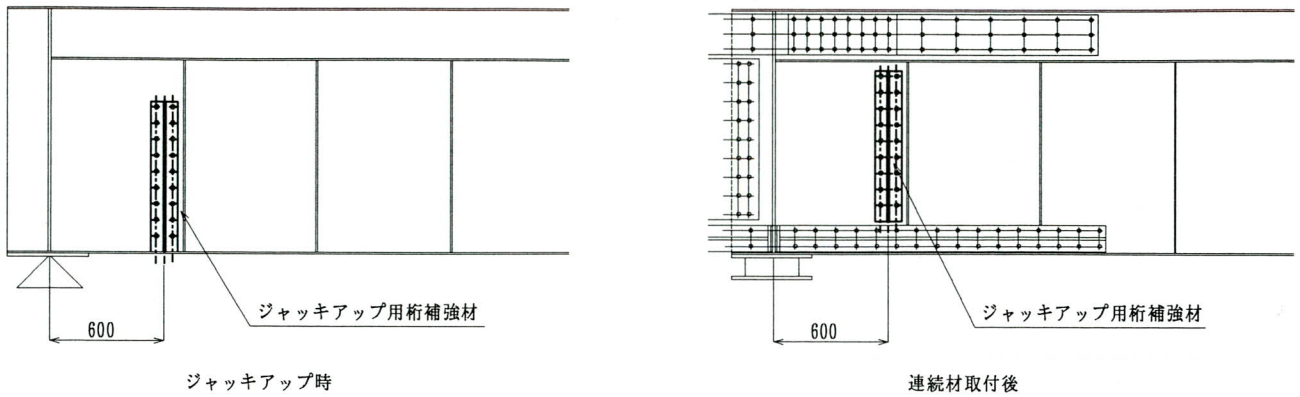
1) 設計基本方針

設計上基本的な考え方は、施工の手順を考慮して以下の通りとした。

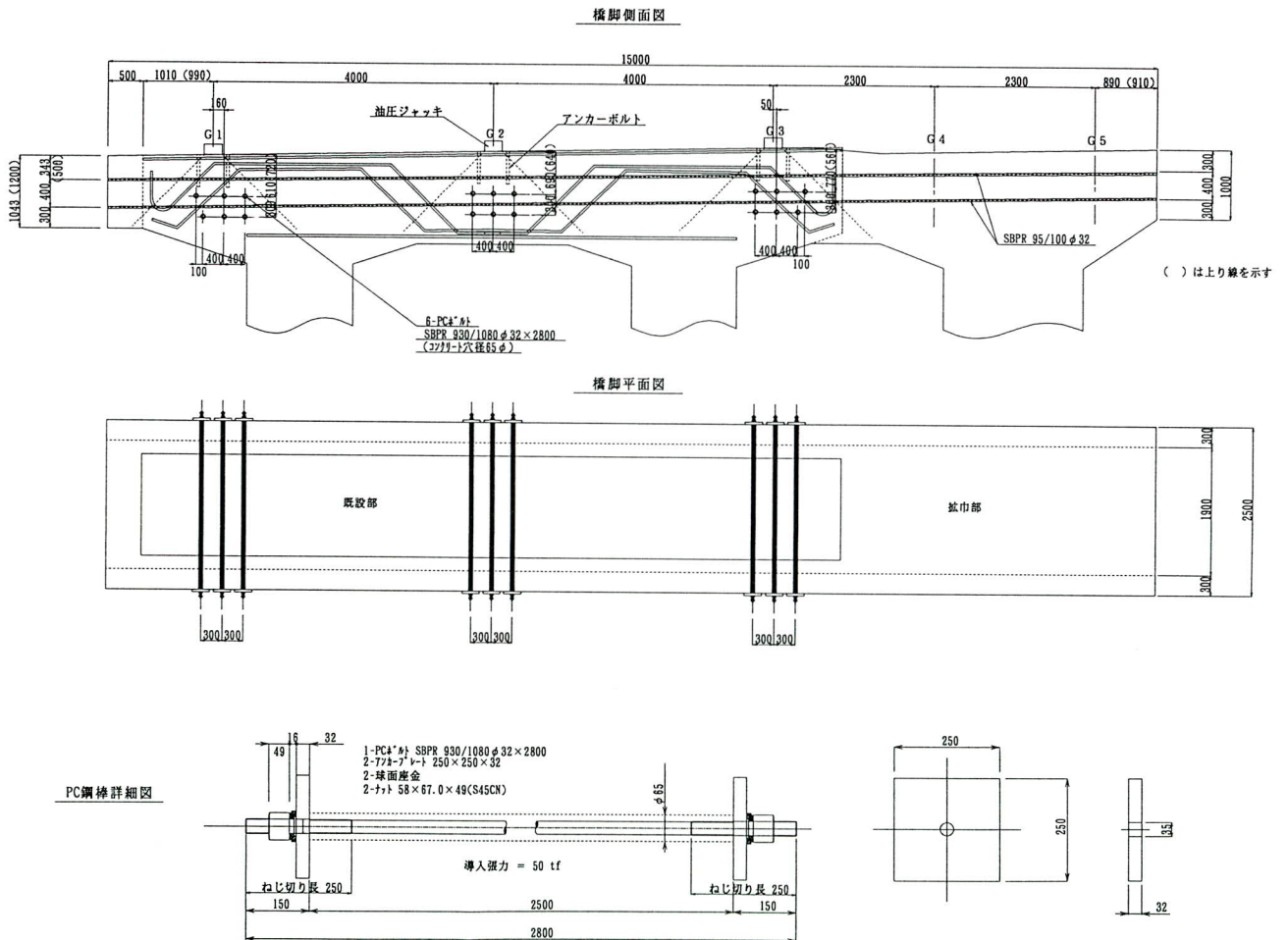
- ・格子計算する際の死荷重強度、合成前・合成後の剛性は拡幅詳細設計を準用する。
- ・箱桁化の死荷重は、連続化後に載荷する。このとき桁の剛性は、合成後の数値を用いる。
- ・活荷重は、B活荷重とし連続化・箱桁化の剛性を考慮し載荷する。
- ・将来、床版上面増厚工法が行われるとして床版死荷重を加味する。
- ・分散ゴム支承の鉛直バネ定数は、40000tf/mとする。

2) 連続化部材の構造

連続材は、フランジ同士・腹板同士の連結が応力の伝達からすれば望ましい。本橋では、10月の集中工事までに交通開放下において連続材を取付けなくてはならず、上フランジを連結することは不可能であった。そこで、図-2のように腹板のみ連続材を取付けることとした。

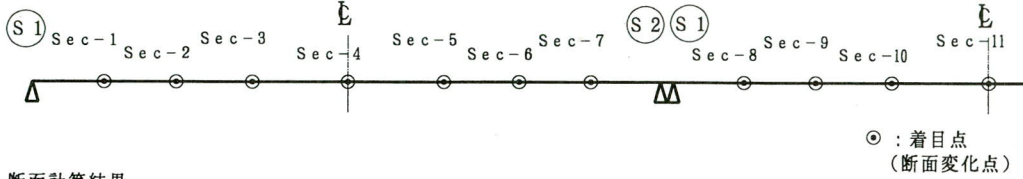


図一六 ジャッキアップ用桁補強部材



図一七 橋脚補強

表-1 連続化・箱桁化後の応力一覧表 (その1)



断面計算結果

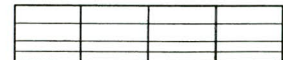
		Sec-1			Sec-2			Sec-3			Sec-4			Sec-5			Sec-6						
		σ_c	σ_u	σ_L	σ_c	σ_u	σ_L	σ_c	σ_u	σ_L	σ_c	σ_u	σ_L	σ_c	σ_u	σ_L	+ M			- M			
G1	Case-1	t = 22mm	25	1 203	1 788	42	1 895	1 935	49	2 203	1 984	52	2 241	1 934	44	2 179	1 897	31	1 857	1 765	7	1 748	1 431
		t = 16mm	26	1 200	1 839	42	1 890	1 997	49	2 198	2 047	52	2 237	1 995	44	2 174	1 950	31	1 854	1 807	7	1 750	1 410
	Case-2	t = 22mm	21	1 206	1 804	43	1 900	1 958	50	2 211	2 015	55	2 253	1 979	47	2 196	1 961	37	1 875	1 852	6	1 737	1 431
		t = 16mm	27	1 202	1 856	43	1 895	2 022	51	2 206	2 082	55	2 248	2 043	48	2 191	2 022	37	1 871	1 903	6	1 739	1 402
	Case-3		30	1 157	2 354	44	1 842	2 434	50	2 170	2 414	54	2 209	2 336	45	2 154	2 282	35	1 824	2 151	3	1 748	1 153
Case-4		25	1 197	1 789	39	1 886	1 936	47	2 189	1 990	50	2 229	1 942	42	2 169	1 913	31	1 854	1 791	6	1 759	1 407	
Case-5		24	1 195	1 762	38	1 884	1 905	46	2 186	1 955	49	2 226	1 908	41	2 167	1 883	30	1 852	1 767	7	1 749	1 420	
G2	Case-1	t = 22mm	20	1 221	1 447	29	1 809	1 625	36	2 064	1 639	37	2 081	1 600	31	2 041	1 565	20	1 771	1 479	-4	1 658	1 150
		t = 16mm	21	1 218	1 530	30	1 805	1 688	37	2 060	1 704	38	2 076	1 663	32	2 037	1 620	21	1 769	1 522	-5	1 659	1 128
	Case-2	t = 22mm	20	1 223	1 489	31	1 813	1 642	38	2 071	1 664	39	2 092	1 635	35	2 055	1 616	25	1 788	1 549	-6	1 648	1 141
		t = 16mm	21	1 219	1 543	32	1 808	1 707	38	2 066	1 731	39	2 087	1 701	35	2 051	1 676	26	1 784	1 600	-6	1 650	1 112
	Case-3		20	1 164	1 953	29	1 742	2 038	33	2 006	1 986	31	2 022	1 890	29	1 994	1 879	22	1 728	1 807	-5	1 678	949
Case-4		18	1 212	1 475	30	1 806	1 655	36	2 061	1 678	38	2 080	1 646	32	2 041	1 606	22	1 772	1 517	-5	1 655	1 118	
Case-5		17	1 210	1 448	29	1 803	1 618	35	2 058	1 639	36	2 077	1 608	31	2 038	1 573	21	1 770	1 491	-5	1 656	1 131	
G3	Case-1	t = 22mm	12	1 164	1 526	14	1 845	1 549	16	2 088	1 505	15	2 130	1 436	14	2 078	1 427	9	1 834	1 389	-9	1 799	826
		t = 16mm	12	1 164	1 526	14	1 845	1 549	16	2 088	1 505	15	2 130	1 436	14	2 078	1 427	9	1 834	1 389	-9	1 799	837
	Case-2	t = 22mm	10	1 165	1 537	15	1 846	1 562	16	2 089	1 520	16	2 134	1 456	13	2 080	1 449	10	1 835	1 409	-9	1 797	812
		t = 16mm	10	1 165	1 537	15	1 846	1 562	16	2 089	1 520	16	2 134	1 456	13	2 080	1 449	10	1 835	1 409	-9	1 797	812
	Case-3		12	1 167	1 607	17	1 850	1 639	19	2 099	1 602	20	2 144	1 534	15	2 088	1 510	11	1 838	1 443	-11	1 793	749
Case-4		11	1 166	1 592	16	1 851	1 600	17	2 081	1 556	17	2 127	1 477	14	2 073	1 474	11	1 839	1 426	-11	1 803	668	
Case-5		11	1 166	1 592	16	1 851	1 600	17	2 081	1 556	17	2 127	1 477	14	2 073	1 474	11	1 839	1 426	-11	1 803	668	
G4	Case-1	t = 22mm										1 595	1 636										
		t = 16mm																					
	Case-2											1 596	1 644										
Case-3											1 598	1 668											
G5	Case-1	t = 22mm										1 784	1 790										
		t = 16mm																					
	Case-2										1 785	1 795											
Case-3											1 781	1 772											

σ_c : コンクリート σ_u : 上フランジ σ_L : 下フランジ 単位 : kgf/cm²

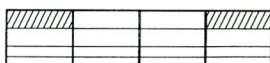
Case-1
連続化+全径間箱桁化
I形格子モデル



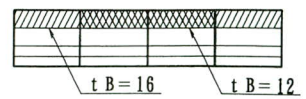
Case-3
連続化のみ
I形格子モデル



Case-2
連続化+側径間箱桁化
I形格子モデル



Case-4
連続化+全径間箱桁化
(側径間 t B=16、中央径間 t B=12)
(G1+G2) 1本棒箱桁モデル
(断面力1/2評価)

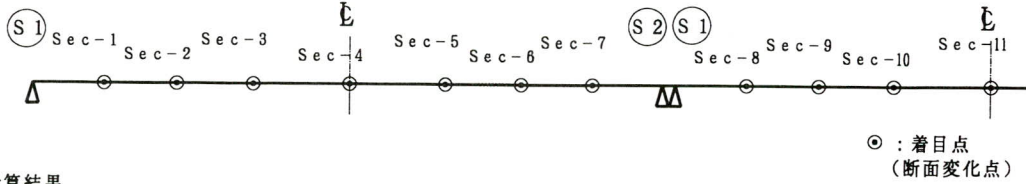


ハッチ部が箱桁化箇所

Case-5
Type-4箱桁化部材の取付位置変化



表-2 連続化・箱桁化後の応力一覧表 (その2)



断面計算結果

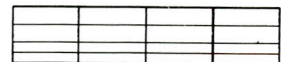
		Sec-7						Sec-8						Sec-9						Sec-10			Sec-11			
		+ M			- M			+ M			- M			+ M			- M			σ_c	σ_u	σ_l	σ_c	σ_u	σ_l	
		σ_c	σ_u	σ_l	σ_c	σ_u	σ_l	σ_c	σ_u	σ_l	σ_c	σ_u	σ_l	σ_c	σ_u	σ_l	σ_c	σ_u	σ_l							
G 1	Type-1	t = 22mm	17	1 177	1 540	-5	1 084	1 209	16	1 177	1 526	-7	1 077	1 172	31	1 853	1 737	5	1 682	1 387	40	2 165	1 842	46	2 216	1 845
		t = 16mm	17	1 175	1 572	-5	1 087	1 164	16	1 175	1 558	-7	1 081	1 123	31	1 850	1 778	5	1 741	1 361	41	2 161	1 891	47	2 212	1 896
	Type-2	t = 22mm	21	1 192	1 684	-7	1 071	1 231	18	1 149	1 872	-13	1 118	628	29	1 814	1 989	3	1 765	1 217	39	2 144	2 125	47	2 186	2 168
		t = 16mm	21	1 189	1 707	-8	1 074	1 174	18	1 149	1 872	-13	1 118	628	29	1 814	1 989	3	1 765	1 217	39	2 144	2 125	47	2 186	2 168
	Type-3		23	1 152	2 063	-9	1 122	650	23	1 154	2 079	-11	1 120	581	35	1 823	2 137	1	1 755	1 091	43	2 147	2 221	49	2 193	2 222
Type-4		17	1 175	1 594	-5	1 087	1 209	17	1 173	1 590	-8	1 082	1 090	29	1 841	1 756	4	1 743	1 334	38	2 129	1 871	44	2 200	1 876	
Type-5		16	1 174	1 577	-4	1 089	1 234	16	1 169	1 554	-5	1 089	1 150	28	1 840	1 735	5	1 744	1 349	38	2 127	1 845	43	2 198	1 848	
G 2	Type-1	t = 22mm	11	1 191	1 284	-11	1 094	964	11	1 190	1 270	-12	1 088	934	20	1 766	1 434	-6	1 649	1 114	28	2 028	1 519	32	2 058	1 526
		t = 16mm	12	1 190	1 317	-12	1 096	923	11	1 188	1 302	-13	1 090	888	20	1 763	1 493	-7	1 650	1 088	29	2 025	1 568	32	2 054	1 579
	Type-2	t = 22mm	14	1 205	1 373	-13	1 084	978	11	1 158	1 579	-13	1 134	515	17	1 723	1 711	-5	1 679	972	26	1 986	1 790	28	2 009	1 794
		t = 16mm	15	1 202	1 415	-13	1 087	929	11	1 158	1 579	-13	1 134	515	17	1 723	1 711	-5	1 679	972	26	1 986	1 790	28	2 009	1 794
	Type-3		15	1 159	1 703	-11	1 136	567	14	1 161	1 724	-13	1 134	516	20	1 728	1 801	-7	1 675	903	28	1 991	1 833	28	2 011	1 805
Type-4		12	1 189	1 319	-12	1 092	932	10	1 182	1 307	-14	1 091	855	19	1 760	1 499	-8	1 652	1 058	28	2 020	1 578	32	2 051	1 594	
Type-5		11	1 188	1 301	-11	1 094	957	9	1 181	1 290	-13	1 092	884	18	1 758	1 476	-7	1 653	1 073	27	2 018	1 549	31	2 048	1 563	
G 3	Type-1	t = 22mm	6	1 161	1 314	-15	1 147	516	7	1 161	1 319	-15	1 147	484	8	1 833	1 377	-10	1 796	807	12	2 074	1 391	13	2 121	1 368
		t = 16mm	6	1 161	1 314	-15	1 147	516	7	1 161	1 319	-15	1 147	484	8	1 833	1 377	-10	1 796	807	12	2 074	1 391	13	2 121	1 368
	Type-2	t = 22mm	6	1 162	1 359	-17	1 146	458	7	1 162	1 354	-18	1 146	425	10	1 836	1 409	-11	1 795	767	15	2 083	1 460	16	2 134	1 463
		t = 16mm	6	1 162	1 359	-17	1 146	458	7	1 162	1 354	-18	1 146	425	10	1 836	1 409	-11	1 795	767	15	2 083	1 460	16	2 134	1 463
	Type-3		7	1 163	1 404	-18	1 145	404	9	1 163	1 418	-19	1 144	363	11	1 837	1 437	-13	1 791	711	15	2 085	1 474	16	2 134	1 462
Type-4		7	1 163	1 392	-13	1 133	657	7	1 163	1 381	-14	1 131	620	9	1 837	1 405	-13	1 801	608	12	2 069	1 437	13	2 119	1 411	
Type-5		7	1 163	1 392	-13	1 133	657	7	1 163	1 381	-14	1 131	620	9	1 837	1 405	-13	1 801	608	12	2 069	1 437	13	2 119	1 411	
G 4	Type-1	t = 22mm																								
		t = 16mm																								
	Type-2																									
G 5	Type-1	t = 22mm																								
		t = 16mm																								
	Type-2																									

σ_c : コンクリート σ_u : 上フランジ σ_l : 下フランジ 単位 : kgf/cm²

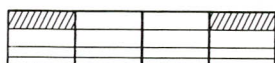
Case-1
連続化 + 全径間箱桁化
I 形格子モデル



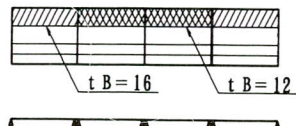
Case-3
連続化のみ
I 形格子モデル



Case-2
連続化 + 側径間箱桁化
I 形格子モデル



Case-4
連続化 + 全径間箱桁化
(側径間 t B = 16、中央径間 t B = 12)
(G1 + G2) 1 本棒箱桁モデル
(断面力 1/2 評価)



▨ ハッチ部が箱桁化箇所

Case-5
Type-4 箱桁化部材の取付位置変化

による剛性の差であるが、応力度の差が30～40kgf/cm²程度であり、総じてモデル化による差は、ないと言える。

CASE-1とCASE-5は、板厚の差および箱桁位置による剛性の差であるがCASE-5の方が応力度の改善が良く、本橋ではCASE-5を決定ケースとした。

5) 箱桁化部材の取付構造

4) でも触れたが、当初箱桁位置は、対傾構下面に取り付けるよう考えられていた。しかしながら箱桁化部材は、下フランジに近いほど応力度の改善は良く、スペースに余裕があることおよび下側連続材を底板の取付材に兼用できることから、箱桁位置を連続材位置とした。

5. おわりに

本工事は、工事着手前、集中工事後、箱桁化架設後の3度にわたり補強効果を確認するための応力測定を行う計画である。次回には、応力測定結果を報告したいと考えています。

この工事を実施するにあたり、日本道路公団東京第一管理局ならびに同横浜管理事務所の担当者の方々には多大なるご指導を頂いております。誌面を借りて深く感謝いたします。

1996, 10, 31受付

グラビア写真説明

横島橋

本工事は、四国を南北に貫く国道33号と194号を東西に結ぶ、高知・主要県道18号伊野・仁淀線の改良工事の一部として計画されたものである。

山沿いに続く湾曲した旧道は幅員も大変狭く、車輛の行違いの困難な交通の難所であったが、本工事等の改良によりショートカットされたバイパスが新設され、解消されることとなった。

四国の清流として全国的にその名を知られるのは「四万十川」であるが、高知には清流と呼ぶに相応しい河川が数多く現存している。「仁淀川」もそのひとつであり、横島橋はその上を橋長195.0m・支間長96.9+96.9mの2径間連続鋼床版箱桁で繋いでいる。「仁淀川」の清き水面に映し出される耐候性鋼材の桁は、日増しにその姿を山間の景色に溶け込ませている。

(山根)

グラビア写真説明

屋島橋

屋島橋は、長野市と須坂市を結び、千曲川にかかる橋長770mの橋梁です。その主径間は宮地・日橋J V施工のバスケットハンドル型のニールセンローゼ桁（127.6m）、側径間は連続鈹桁と連続箱桁から構成される11径間の橋梁です。屋島橋は、上信越自動車道須坂長野インターチェンジの西に位置し、1998年長野オリンピックの玄関口として、注目を集めています。近隣には、冬季オリンピック施設のスピードスケート会場、メディア村も建設されています。また、1996年11月14日の上信越自動車道 更埴・小諸間の開通に伴い首都圏からのアクセスも一段と便利になり、その重要性は一段と増しています。高さ49.2mの鉄塔を用いたケーブルクレーン（斜吊り）工法による架設は、県土木部からも注目され、架設現場見学会等の実施や、その架設工事の記録映画も製作されるなど橋梁事業の理解とイメージアップにも一役買いました。

（粕谷）

明石海峡大橋

明石海峡大橋は、本州四国連絡橋の「神戸～鳴門ルート」に属し、1日1,300隻の船舶航行数を誇る国際航路、明石海峡を横断し、兵庫県神戸市と淡路島を結ぶ全長3,910m、中央支間長1,990mの世界最長の吊り橋です。補剛桁は、150年に1度と予想される風力の1.3倍にあたる秒速80mの暴風やマグニチュード8.5クラスの地震力に耐え得るよう設計されています。架設工法は、変形防止・耐風安定性を重視し、橋台及び主塔を起点として中央部へ向かって架設する逐次剛結工法を採用しています。阪神・淡路大震災という大地震を乗り越え、平成8年9月18日に補剛桁の閉合を完了、現在は、残部材の架設を進めており平成10年春の竣功を目指し安全第一で工事を進めています。

（山本）

（仮称）大手町1丁目CDPビル新築工事（II期工事）

東京の大手町1丁目付近は、日本を代表する企業、銀行等の大規模ビルが集まっているところであるが、ここ数年近代的ビルへの改築ラッシュが続き、より高層化、大型化、個性化へと、すっかり昔の面影を変えてしまっている。

今回のこのビルもその内の1つである。外壁はグレー調の石と、ブルー調のガラスが貼りめぐらされて斬新な色調を出している一方、低層階及びペントハウス階は、重厚で懐古調の趣を感じさせてくれる。3年前に完成した、I期工事と同様の意匠のビルがここ1丁目の交差点に聳え立ち、大手町の新しい顔になるのではないだろうか。

（西原）

（仮称）渋谷桜丘共同ビル新築工事

本物件の敷地は、JR渋谷駅から南西に坂を登った南平台町に隣接した位置にあり、周辺は従来の住宅地がオフィスビルや中層マンションに代わりつつあるが、後背地には優良な住宅地が残っている地域である。

このような地域に高層かつガラス張りの傾斜大屋根等、意匠デザインにも優れた本物件は一際目を引く建物である。用途については、オフィス、専修学校、店舗、共同住宅、フィットネスクラブ等で現在建設されている複合施設ビルの代表的な建物と言ってよいだろう。

当社鉄骨施工約2,000tの中にはS M570 Q（高張力鋼、最大板厚64mm）を約4割使用した。

（宮関）