

目 次

まえがき	1
1. 概 説	2
2. 施工誤差が強度におよぼす影響	5
2.1 主鉄筋の有効高の誤差にもなう応力度の変化	5
2.2 主鉄筋間隔の誤差にもなう応力度の変化	5
2.3 n の誤差にもなう応力度の変化	5
3. 考 察	23
あとがき	26

まえがき

現場打ち鉄筋コンクリート床版は、工場製作によるプレキャスト版にくらべてその品質または寸法精度を均質かつ設計どおりに保つことが困難な面が多いが、とくに配筋精度およびコンクリートの表面仕上げ精度——すなわち、厚さの精度——の点で、ある程度の誤差は作業の性質上不可避であると考えられる。しかし、施工誤差が床版の強度を低下せしめる方向へ現われた場合、その程度如何によつてはその床版の耐久性、安全性にも影響することになるので、鉄筋コンクリート床版の施工にあたって常に施工誤差が強度におよぼす影響について念頭におくことが重要であると思われる。

鉄筋コンクリート床版の施工誤差としては、鉄筋の有効高の誤差、鉄筋間隔の誤差、コンクリートの材料の不均質性にもとづく n 値 (E_s/E_c) の誤差などが考えられる。

この資料は、ある設計条件のもとに設計した床版について、このような施工誤差の大きさとそれによる鉄筋応力度およびコンクリート応力度の変動との関係を求めたもので、鉄筋コンクリート床版の施工管理のうえで役立つものと考ええる。

橋梁研究室

太 田 実

1. 概 説

現場打ち鉄筋コンクリート床版の施工精度にかかわる因子として、つぎの3つを考える。

- (1) 主鉄筋の有効高
- (2) 主鉄筋の間隔
- (3) $n (= E_s / E_c)$

表1に示すようなA, B2種類の設計条件を仮定し、鋼道路橋設計示方書19条にしたがって設計した結果を表2および表3に示す。

これを基準にして、主鉄筋有効高を+2.0〜5.0 cmの範囲で、主鉄筋間隔は+4.0〜4.0 cmの範囲に、またn値は15.0を基準に7.5〜20.0の範囲にそれぞれ変化させた場合の主鉄筋およびコンクリート応力度を計算して、それぞれの原設計に対する増減率を求めた。

なお、検討の対象とした床版は単鉄筋床版とし、支間の範囲は1.0〜4.0 mとした。

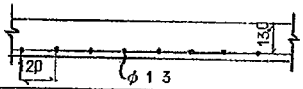
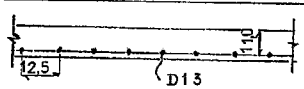
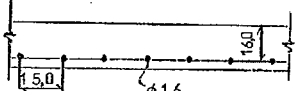
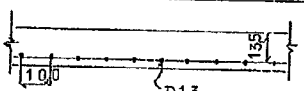
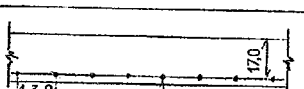
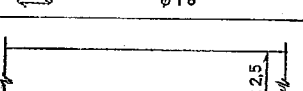
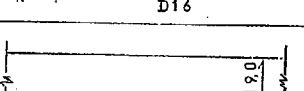
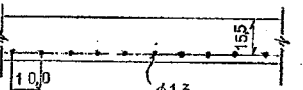
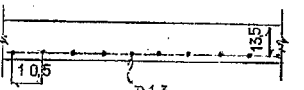
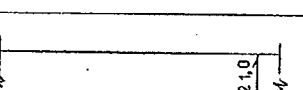
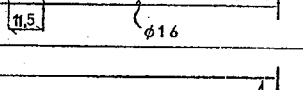
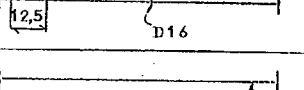
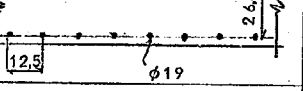
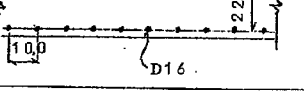
表1. 設 計 条 件

設 計	版の種類	使 用 材 料				$n = E_s / E_c$
		鉄 筋		コンクリート		
		材 質	許容応力度	材 質	許容応力度	
A	1方向単純版	SR24	1,400 kg/cm^2	普通コンクリート	60 kg/cm^2	15
B		SD30	1,800 kg/cm^2	普通コンクリート	80 kg/cm^2	15

表2. 床版の設計 (基準設計)

設計	使用材料	主鉄筋 の方向	支間 l (m)	有効高		主鉄筋 最計算 値 A_B (cm^2/m)	鉄筋 径 ϕ (mm)	鉄筋1本 当り断面 積 a_B (cm^2)	主鉄筋間隔		主鉄筋量 設計値 A_{B0} (cm^2/m)	設計応力度	
				計算値	設計値				計算値	設計値		σ_{B0} (kg/cm^2)	σ_{B0} (kg/cm^2)
				d (cm)	d_0 (cm)				p (cm)	p_0 (cm)			
A	鉄筋: SR24 $\sigma_{B1} = 1,400$ kg/cm^2	車両進 行方向 に直角	1.0	12.86	13.0	10.79	13	13.27	12.3	12.0	11.05	1,354	58.6
			2.0	15.83	16.0	13.28	16	20.11	15.1	15.0	13.40	1,368	58.8
			3.0	19.58	20.0	16.76	16	20.11	12.2	12.0	16.76	1,340	57.4
			4.0	22.30	22.5	18.70	16	20.11	10.7	10.5	19.15	1,360	59.0
	コンクリート $\sigma_{CA} = 60$ kg/cm^2 $n = 15$	車両進 行方向 に平行	1.0	15.44	15.5	12.90	13	13.27	10.3	10.0	13.27	1,363	59.3
			2.0	20.80	21.0	17.40	16	20.11	11.6	11.5	17.48	1,388	59.0
			3.0	26.17	26.5	21.95	19	28.35	12.9	12.5	22.70	1,320	58.0
			4.0	31.16	31.5	26.13	19	28.35	11.0	10.5	27.00	1,338	58.4
B	鉄筋: SD30 $\sigma_{B1} = 1,800$ kg/cm^2	車両進 行方向 に直角	1.0	10.96	11.0	9.77	13	12.7	13.0	12.5	10.16	1,750	79.5
			2.0	13.46	13.5	11.98	13	12.7	10.6	10.0	12.70	1,710	78.7
			3.0	16.56	17.0	14.73	16	19.8	13.4	13.0	15.22	1,700	76.8
			4.0	18.70	19.0	16.64	16	19.8	11.9	11.5	17.23	1,720	77.5
	コンクリート $\sigma_{CA} = 80$ kg/cm^2 $n = 15$	車両進 行方向 に平行	1.0	13.17	13.5	11.70	13	12.7	10.9	10.5	12.10	1,709	76.5
			2.0	17.70	18.0	15.75	16	19.8	12.6	12.5	15.86	1,771	78.1
			3.0	22.19	22.5	19.74	16	19.8	10.0	10.0	19.80	1,781	78.6
			4.0	26.30	26.5	23.40	19	28.5	12.2	12.0	23.74	1,767	79.1

表 3 床版基準設計の断面

主鉄筋の方向	床版の支間 (m)	設計条件 A		設計条件 B	
		$\sigma_{sa}=1,400\text{kg/cm}^2$ (SR24)	$\sigma_{ca}=60\text{kg/cm}^2$ $n=15$	$\sigma_{sa}=1,800\text{kg/cm}^2$ (SD30)	$\sigma_{ca}=80\text{kg/cm}^2$ $n=15$
車両進行方向に直角	1.0				
	2.0				
	3.0				
	4.0				
車両進行方向に平行	1.0				
	2.0				
	3.0				
	4.0				

2. 施工誤差が強度におよぼす影響

2.1 主鉄筋の有効高の誤差にともなう応力度の変化

表2および表3の基準設計を中心に、主鉄筋有効高の誤差を0.5cm間隔にとって+2.0～-5.0cmの範囲について主鉄筋およびコンクリートの応力度ならびに原設計値に対するそれらの比を求めると、表4、表5および図1～図4のようになる。ただし、誤差量を表わす数値の正および負符号はそれぞれ主鉄筋の有効高が増加および減少する方向をあらわす。

2.2 主鉄筋間隔の誤差にともなう応力度の変化

基準設計を中心に、主鉄筋間隔の誤差を1cm間隔にとって+4.0～-4.0cmの範囲について主鉄筋およびコンクリートの応力度ならびに原設計値に対するそれらの比を求めると、表6、表7および図5～図8のようになる。ただし、誤差量をあらわす数値の正および負符号はそれぞれ主鉄筋間隔が原設計よりも粗および密になる方向をあらわす。

2.3 n の誤差にともなう応力度の変化

設計値 $n = 1.5$ を中心に、2.5間隔に $n = 7.5 \sim 20.0$ の範囲 n 値をかえて、原設計断面（表-3）における主鉄筋およびコンクリートの応力度ならびに原設計値に対するそれらの比を求めると、表8、表9および図9～図12のようになる。

表4 主鉄筋の有効高の誤差にともなう応力度の変化

〔設計A ($\sigma_{sa}=1,400 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{ca}=60 \text{ kg/cm}^2$, $n=15$)〕

主鉄筋 の方向	支間 l (m)	設計応力度 (kg/cm ²)			有 効 高 (d) の 誤 差 (cm)														
		σ_{so}	σ_{co}		(+ は有効高がふえる方向 - は有効高が減る方向)														
					+2.0	+1.5	+1.0	+0.5	0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5	-5.0
車 両 進 行 方 向 に 直 角	1.0	1,354	586	σ_s	1,160	1,210	1,252	1,300	1,354	1,410	1,478	1,545	1,619	1,705	1,790	1,895	1,995	2,128	2,285
				σ_c	461	489	516	550	586	625	671	719	777	842	911	1,025	1,091	1,200	1,338
				σ_s/σ_{so}	0.857	0.894	0.925	0.960	1.000	1.041	1.092	1.141	1.196	1.259	1.322	1.400	1.473	1.572	1.688
				σ_c/σ_{co}	0.787	0.834	0.881	0.939	1.000	1.067	1.145	1.227	1.326	1.437	1.555	1.749	1.862	2.048	2.283
	2.0	1,368	588	σ_s	1,210	1,252	1,282	1,334	1,368	1,417	1,465	1,520	1,582	1,645	1,710	1,782	1,860	1,945	2,040
				σ_c	483	505	529	559	588	619	654	694	736	785	835	883	955	1,028	1,109
				σ_s/σ_{so}	0.885	0.915	0.937	0.975	1.000	1.036	1.071	1.111	1.156	1.202	1.250	1.303	1.360	1.422	1.490
				σ_c/σ_{co}	0.821	0.859	0.900	0.951	1.000	1.053	1.112	1.180	1.252	1.335	1.420	1.434	1.624	1.748	1.886
	3.0	1,340	574	σ_s	1,218	1,242	1,272	1,302	1,340	1,379	1,420	1,460	1,500	1,545	1,595	1,645	1,695	1,760	1,815
				σ_c	491	510	530	551	574	600	626	660	686	720	756	791	840	884	934
				σ_s/σ_{so}	0.909	0.927	0.949	0.972	1.000	1.029	1.060	1.090	1.119	1.153	1.190	1.228	1.265	1.313	1.354
				σ_c/σ_{co}	0.855	0.889	0.923	0.960	1.000	1.045	1.091	1.150	1.195	1.254	1.317	1.378	1.463	1.540	1.627
	4.0	1,360	590	σ_s	1,243	1,268	1,300	1,335	1,360	1,392	1,428	1,465	1,500	1,538	1,585	1,625	1,670	1,725	1,772
				σ_c	510	531	547	567	590	610	636	660	689	715	748	783	818	857	900
				σ_s/σ_{so}	0.914	0.932	0.956	0.982	1.000	1.024	1.050	1.077	1.103	1.131	1.165	1.195	1.228	1.268	1.303
				σ_c/σ_{co}	0.864	0.900	0.927	0.961	1.000	1.034	1.078	1.119	1.168	1.212	1.268	1.327	1.386	1.453	1.525
車 両 進 行 方 向 に 平 行	1.0	1,363	593	σ_s	1,185	1,236	1,278	1,318	1,363	1,410	1,460	1,515	1,575	1,640	1,710	1,785	1,872	1,960	2,030
				σ_c	483	506	534	560	593	625	661	703	747	795	851	912	982	1,060	1,145
				σ_s/σ_{so}	0.869	0.907	0.938	0.967	1.000	1.034	1.071	1.111	1.156	1.203	1.255	1.310	1.373	1.438	1.489
				σ_c/σ_{co}	0.815	0.853	0.901	0.944	1.000	1.054	1.115	1.185	1.260	1.341	1.435	1.538	1.656	1.788	1.931
	2.0	1,388	590	σ_s	1,258	1,289	1,316	1,345	1,388	1,430	1,455	1,498	1,540	1,580	1,628	1,674	1,730	1,782	1,845
				σ_c	506	525	545	567	590	615	639	668	698	730	765	800	840	885	936
				σ_s/σ_{so}	0.906	0.929	0.948	0.969	1.000	1.030	1.048	1.079	1.109	1.138	1.173	1.206	1.246	1.284	1.329
				σ_c/σ_{co}	0.858	0.890	0.924	0.961	1.000	1.042	1.083	1.132	1.183	1.237	1.297	1.356	1.424	1.500	1.586
	3.0	1,320	580	σ_s	1,235	1,263	1,286	1,310	1,320	1,360	1,392	1,420	1,455	1,488	1,520	1,550	1,588	1,632	1,670
				σ_c	514	531	546	562	580	600	620	638	663	687	711	737	765	807	827
				σ_s/σ_{so}	0.936	0.957	0.974	0.982	1.000	1.030	1.055	1.076	1.102	1.127	1.152	1.174	1.203	1.236	1.265
				σ_c/σ_{co}	0.886	0.916	0.941	0.969	1.000	1.034	1.069	1.100	1.143	1.184	1.226	1.271	1.319	1.391	1.426
	4.0	1,338	584	σ_s	1,260	1,275	1,300	1,318	1,338	1,365	1,390	1,413	1,440	1,465	1,490	1,520	1,545	1,580	1,609
				σ_c	526	539	553	568	584	600	615	634	650	670	690	710	731	755	780
				σ_s/σ_{so}	0.942	0.953	0.972	0.985	1.000	1.020	1.039	1.056	1.076	1.095	1.114	1.136	1.155	1.181	1.203
				σ_c/σ_{co}	0.901	0.923	0.947	0.973	1.000	1.027	1.053	1.086	1.113	1.147	1.182	1.216	1.252	1.293	1.336

表5 主鉄筋の有効高の誤差に伴う応力度の変化

(設計B ($\sigma_{Bd}=1800\text{kg/cm}^2$, $\sigma_{Cd}=800\text{kg/cm}^2$, $n=15$))

主鉄筋 方 向	支間 ℓ (m)	設計応力度 (kg/cm ²)			有 効 高 (d) の 誤 差 (+は有効高がふえる方向, -は有効高が減る方向)														
		σ _{Bo}	σ _{Co}		+2.0	+1.5	+1.0	+0.5	0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5	-5.0
車 両 進 行 方 向 に 直 角	1.0	1,750	795	σ _B	1,470	1,535	1,595	1,670	1,750	1,830	1,925	2,020	2,170	2,290	2,450	2,640	2,840	3,060	3,320
				σ _C	598	640	686	735	795	855	958	1045	1115	1230	1365	1525	1725	1945	2240
				σ _B /σ _{Bo}	0.847	0.877	0.911	0.945	1.000	1.046	1.100	1.154	1.240	1.309	1.400	1.509	1.623	1.749	1.897
				σ _C /σ _{Co}	0.752	0.805	0.863	0.925	1.000	1.075	1.175	1.277	1.403	1.547	1.717	1.918	2.170	2.447	2.818
	2.0	1,710	787	σ _B	1,470	1,525	1,575	1,640	1,710	1,775	1,850	1,935	2,038	2,138	2,230	2,330	2,480	2,680	2,790
				σ _C	625	660	695	740	787	840	898	963	1030	1115	1205	1310	1435	1575	1730
				σ _B /σ _{Bo}	0.865	0.892	0.921	0.959	1.000	1.038	1.082	1.132	1.192	1.250	1.304	1.364	1.450	1.543	1.632
				σ _C /σ _{Co}	0.794	0.839	0.883	0.940	1.000	1.067	1.141	1.224	1.309	1.417	1.531	1.665	1.823	2.000	2.198
	3.0	1,700	768	σ _B	1,520	1,565	1,600	1,660	1,700	1,765	1,825	1,890	1,960	2,024	2,097	2,180	2,273	2,360	2,470
				σ _C	636	664	694	736	768	805	845	893	945	1000	1060	1128	1205	1285	1378
				σ _B /σ _{Bo}	0.894	0.921	0.941	0.976	1.000	1.038	1.074	1.112	1.153	1.191	1.234	1.282	1.343	1.388	1.543
				σ _C /σ _{Co}	0.828	0.865	0.904	0.958	1.000	1.048	1.100	1.163	1.230	1.302	1.380	1.469	1.569	1.673	1.794
	4.0	1,720	775	σ _B	1,550	1,595	1,636	1,688	1,720	1,780	1,838	1,875	1,950	2,018	2,062	2,145	2,218	2,300	2,385
				σ _C	655	683	713	744	775	814	848	892	938	985	1037	1098	1,158	1,229	1,303
				σ _B /σ _{Bo}	0.901	0.927	0.951	0.981	1.000	1.035	1.068	1.090	1.134	1.173	1.199	1.247	1.289	1.337	1.387
				σ _C /σ _{Co}	0.845	0.881	0.920	0.960	1.000	1.050	1.094	1.151	1.210	1.271	1.338	1.418	1,490	1.586	1.681
車 両 進 行 方 向 に 平 行	1.0	1,709	765	σ _B	1,480	1,520	1,580	1,650	1,709	1,782	1,855	1,938	2,038	2,122	2,240	2,350	2,490	2,620	2,800
				σ _C	607	642	678	722	765	820	870	935	1005	1085	1,172	1,273	1,390	1,523	1,690
				σ _B /σ _{Bo}	0.866	0.890	0.923	0.966	1.000	1.043	1.086	1.135	1.193	1.242	1.311	1.375	1.457	1.533	1.639
				σ _C /σ _{Co}	0.793	0.839	0.886	0.944	1.000	1.072	1.137	1.222	1.314	1.418	1.532	1.664	1.817	1.991	2.029
	2.0	1,771	781	σ _B	1,590	1,635	1,680	1,718	1,771	1,818	1,885	1,945	2,008	2,080	2,140	2,235	2,320	2,410	2,500
				σ _C	655	686	715	745	781	818	862	905	955	1006	1,062	1,128	1,198	1,275	1,359
				σ _B /σ _{Bo}	0.898	0.923	0.946	0.970	1.000	1.026	1.064	1.098	1.134	1.174	1.208	1.262	1.310	1.361	1.411
				σ _C /σ _{Co}	0.839	0.878	0.915	0.954	1.000	1.047	1.104	1.159	1.223	1.289	1.360	1.444	1.534	1.633	1.740
	3.0	1,781	786	σ _B	1,628	1,650	1,705	1,740	1,781	1,825	1,872	1,920	1,960	2,020	2,080	2,130	2,195	2,259	2,330
				σ _C	682	705	732	760	786	816	850	883	917	960	1,000	1,050	1,095	1,145	1,200
				σ _B /σ _{Bo}	0.914	0.926	0.957	0.977	1.000	1.025	1.051	1.078	1.101	1.134	1.168	1.196	1.232	1.268	1.308
				σ _C /σ _{Co}	0.868	0.897	0.931	0.967	1.000	1.038	1.081	1.123	1.167	1.221	1.272	1.336	1.387	1.457	1.527
	4.0	1,767	791	σ _B	1,650	1,670	1,715	1,740	1,767	1,820	1,850	1,890	1,932	1,970	2,020	2,065	2,100	2,160	2,220
				σ _C	702	723	746	767	791	819	845	875	900	936	967	1,010	1,040	1,080	1,128
				σ _B /σ _{Bo}	0.934	0.945	0.970	0.984	1.000	1.030	1.047	1.069	1.093	1.115	1.143	1.168	1.188	1.222	1.256
				σ _C /σ _{Co}	0.887	0.914	0.943	0.970	1.000	1.035	1.068	1.106	1.138	1.183	1.223	1.277	1.315	1.365	1.426

図1. 主鉄筋の有効高の誤差にともなう応力度の変化

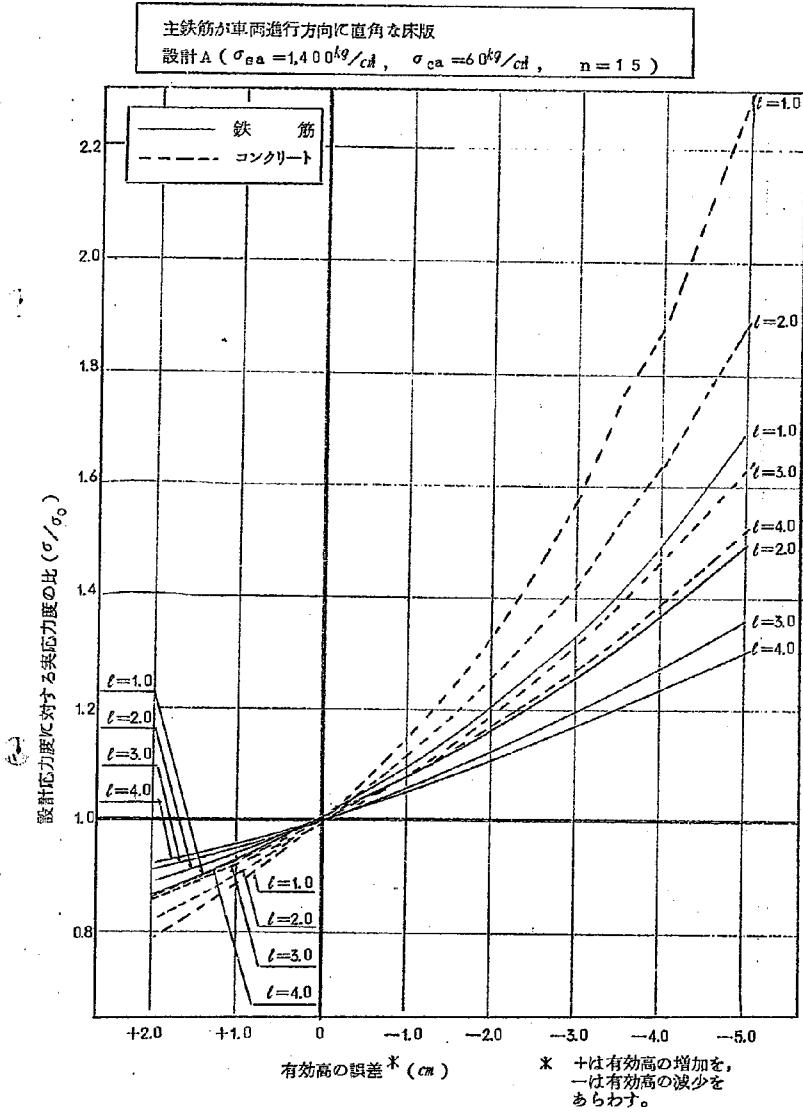


図 2. 主鉄筋の有効高の誤差にともなう応力度の変化

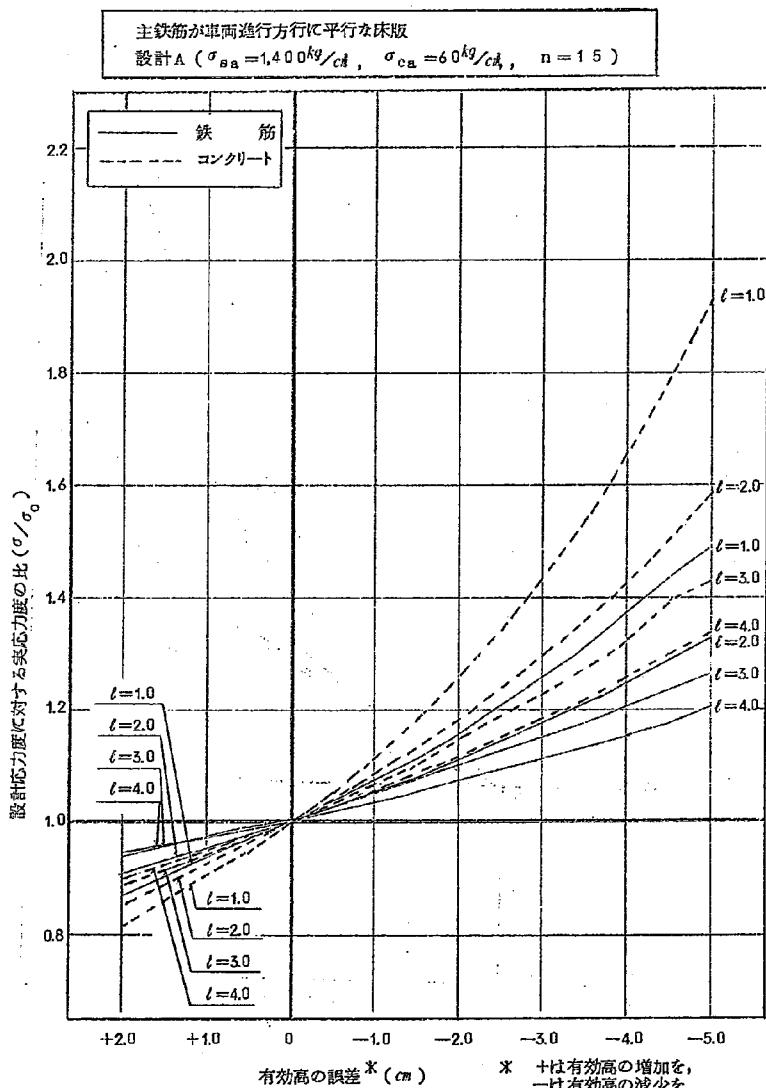


図3 主鉄筋の有効高の誤差にもとづく応力度の変化

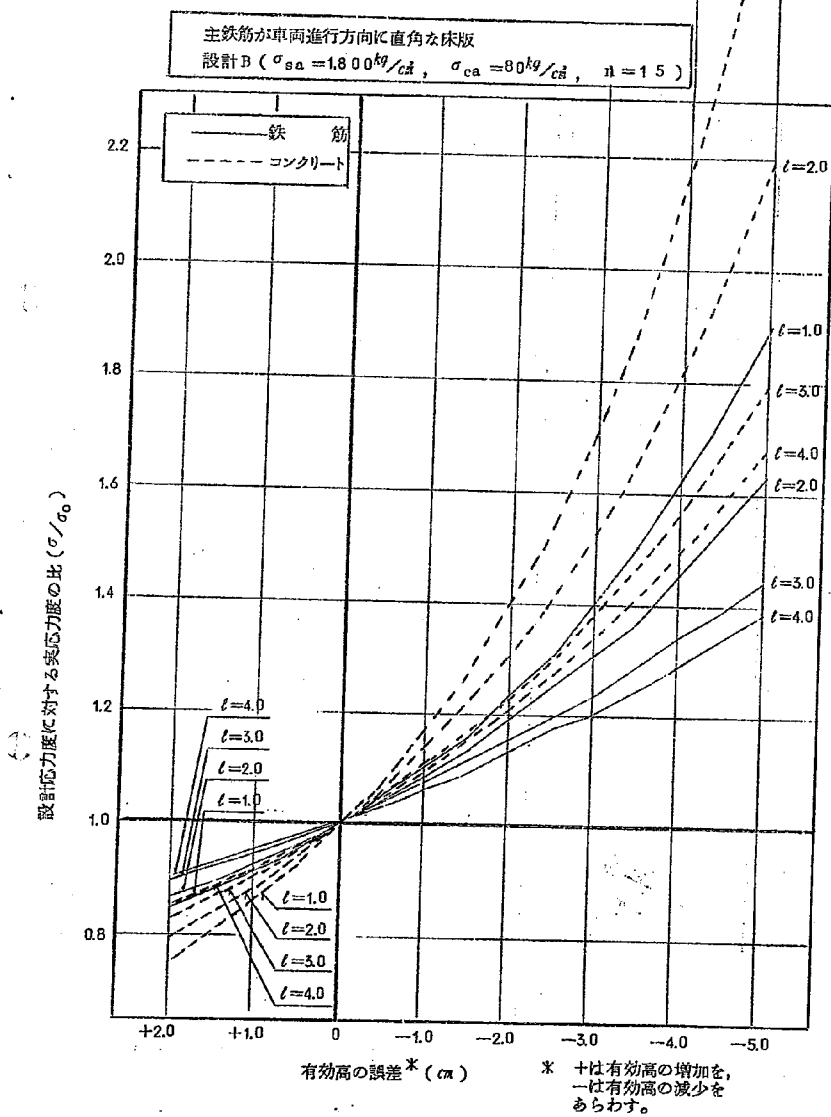


図 4. 主鉄筋の有効高の誤差にもとづく応力度の変化

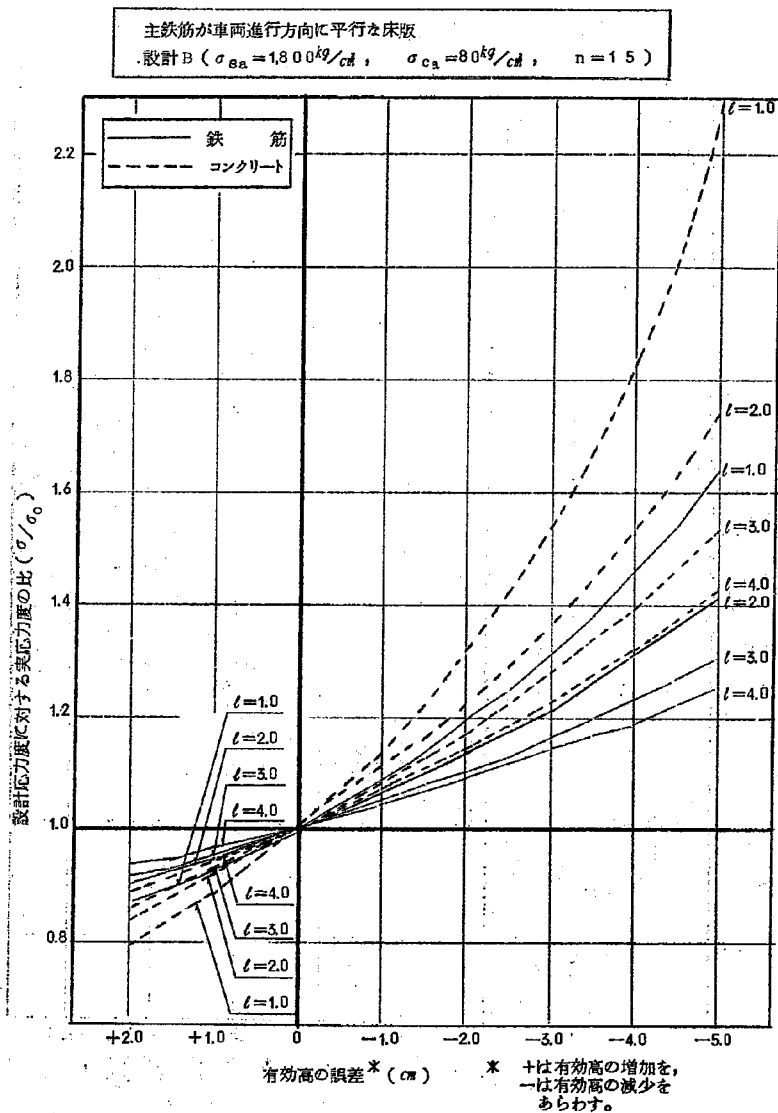


表 6: 主鉄筋間隔の誤差にともなう応力度の変化

設計A ($\sigma_{sa}=1,400\text{kg/cm}^2$, $\sigma_{ca}=60\text{kg/cm}^2$, $n=15$)

主鉄筋 の方向	支間 l(m)				主 鉄 筋 間 隔 の 誤 差 (cm) (+は主鉄筋間隔が粗の場合、 -は主鉄筋間隔が密の場合)								
		σ_{BO}	σ_{CO}		-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0	+1.0	+2.0	+3.0	+4.0
車 両 進 行 方 向 に 直 角	1.0	1.354	58.6	σ_B	925	1,038	1,140	1,245	1,354	1,460	1,565	1,672	1,770
				σ_C	51.8	53.7	55.4	57.0	58.6	60.2	61.7	63.1	64.3
				σ_B/σ_{BO}	0.683	0.767	0.842	0.919	1.000	1.078	1.156	1.235	1.307
				σ_C/σ_{CO}	0.883	0.916	0.945	0.973	1.000	1.027	1.053	1.077	1.097
	2.0	1.368	58.8	σ_B	1,030	1,110	1,196	1,284	1,368	1,460	1,545	1,627	1,720
				σ_C	53.4	54.8	56.1	57.4	58.8	60.0	61.0	62.4	63.4
				σ_B/σ_{BO}	0.753	0.811	0.874	0.939	1.000	1.067	1.129	1.189	1.257
				σ_C/σ_{CO}	0.908	0.932	0.954	0.976	1.000	1.020	1.037	1.061	1.078
	3.0	1.340	57.4	σ_B	917	1,020	1,130	1,234	1,340	1,452	1,550	1,660	1,758
				σ_C	50.9	52.5	54.4	56.0	57.4	59.1	60.6	62.0	63.4
				σ_B/σ_{BO}	0.686	0.761	0.843	0.921	1.000	1.084	1.157	1.239	1.312
				σ_C/σ_{CO}	0.887	0.914	0.948	0.976	1.000	1.030	1.056	1.080	1.105
	4.0	1.360	59.0	σ_B	866	990	1,116	1,236	1,360	1,475	1,600	1,728	1,846
				σ_C	50.7	53.1	55.1	57.0	59.0	60.4	62.2	63.9	65.5
				σ_B/σ_{BO}	0.637	0.728	0.821	0.909	1.000	1.085	1.176	1.271	1.357
				σ_C/σ_{CO}	0.859	0.900	0.934	0.966	1.000	1.024	1.054	1.083	1.110
車 両 進 行 方 向 に 平 行	1.0	1.363	59.3	σ_B	847	980	1,105	1,238	1,363	1,488	1,629	1,745	1,879
				σ_C	50.7	53.1	55.2	57.3	59.3	60.8	62.8	64.4	66.0
				σ_B/σ_{BO}	0.621	0.719	0.811	0.908	1.000	1.092	1.195	1.280	1.379
				σ_C/σ_{CO}	0.855	0.895	0.931	0.966	1.000	1.025	1.059	1.086	1.113
	2.0	1.388	59.0	σ_B	922	1,040	1,151	1,270	1,388	1,495	1,605	1,720	1,823
				σ_C	51.7	53.6	55.6	57.2	59.0	60.6	62.1	63.6	65.1
				σ_B/σ_{BO}	0.664	0.749	0.829	0.915	1.000	1.077	1.156	1.239	1.313
				σ_C/σ_{CO}	0.876	0.908	0.942	0.969	1.000	1.027	1.053	1.078	1.103
	3.0	1.320	58.0	σ_B	932	1,035	1,135	1,240	1,320	1,445	1,536	1,640	1,738
				σ_C	51.7	53.4	55.0	56.6	58.0	59.4	60.9	62.4	63.6
				σ_B/σ_{BO}	0.706	0.784	0.860	0.939	1.000	1.095	1.164	1.242	1.317
				σ_C/σ_{CO}	0.891	0.921	0.948	0.976	1.000	1.024	1.050	1.076	1.095
	4.0	1.338	58.4	σ_B	856	979	1,100	1,220	1,338	1,455	1,585	1,705	1,825
				σ_C	50.4	52.6	54.5	56.5	58.4	60.0	61.8	63.4	65.0
				σ_B/σ_{BO}	0.640	0.732	0.822	0.912	1.000	1.088	1.185	1.274	1.364
				σ_C/σ_{CO}	0.863	0.901	0.933	0.967	1.000	1.027	1.058	1.086	1.113

表7 主鉄筋間隔の誤差にともなう応力度の変化

(設計B ($\sigma_{sa}=1,800\text{kg/cm}^2$, $\sigma_{ca}=80\text{kg/cm}^2$, $n=15$))

-13-

主鉄筋 の方向	支間 l(m)	設計応力度 (kg/cm^2)			主鉄筋間隔の誤差 (cm) (+は主鉄筋間隔が粗の場合、-は主鉄筋間隔が密の場合)								
		σ_{so}	σ_{co}		-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0	+1.0	+2.0	+3.0	+4.0
					σ_s	σ_c	σ_s/σ_{so}	σ_c/σ_{co}					
車 両 進 行 方 向 に 直 角	1.0	1,750	795	σ_s	1,212	1,348	1,480	1,618	1,750	1,875	2,001	2,128	2,264
				σ_c	706	731	750	774	795	815	832	852	870
				σ_s/σ_{so}	0.693	0.770	0.846	0.925	1.000	1.071	1.143	1.216	1.294
				σ_c/σ_{co}	0.888	0.919	0.943	0.972	1.000	1.025	1.047	1.072	1.094
	2.0	1,710	787	σ_s	1,058	1,230	1,390	1,550	1,710	1,870	2,035	2,200	2,360
				σ_c	678	709	737	762	787	812	835	858	880
				σ_s/σ_{so}	0.619	0.719	0.813	0.906	1.000	1.095	1.190	1.287	1.380
				σ_c/σ_{co}	0.861	0.901	0.936	0.968	1.000	1.032	1.061	1.090	1.112
	3.0	1,700	768	σ_s	1,208	1,335	1,460	1,585	1,700	1,835	1,955	2,080	2,200
				σ_c	682	704	724	745	768	782	800	815	832
				σ_s/σ_{so}	0.711	0.785	0.859	0.932	1.000	1.079	1.150	1.224	1.294
				σ_c/σ_{co}	0.888	0.917	0.943	0.970	1.000	1.018	1.040	1.061	1.083
	4.0	1,720	775	σ_s	1,155	1,296	1,438	1,590	1,720	1,875	2,010	2,145	2,300
				σ_c	685	710	732	758	775	800	819	838	858
				σ_s/σ_{so}	0.672	0.753	0.836	0.924	1.000	1.090	1.169	1.247	1.337
				σ_c/σ_{co}	0.884	0.916	0.945	0.978	1.000	1.032	1.057	1.081	1.107
車 両 進 行 方 向 に 平 行	1.0	1,709	765	σ_s	1,092	1,250	1,405	1,562	1,709	1,865	2,030	2,170	2,375
				σ_c	664	692	717	744	765	790	812	830	850
				σ_s/σ_{so}	0.639	0.732	0.822	0.914	1.000	1.092	1.188	1.270	1.361
				σ_c/σ_{co}	0.868	0.905	0.937	0.973	1.000	1.033	1.061	1.084	1.111
	2.0	1,771	781	σ_s	1,235	1,370	1,500	1,640	1,771	1,908	2,038	2,170	2,298
				σ_c	696	720	741	763	781	803	823	839	858
				σ_s/σ_{so}	0.697	0.773	0.847	0.926	1.000	1.077	1.151	1.225	1.297
				σ_c/σ_{co}	0.891	0.922	0.949	0.977	1.000	1.028	1.054	1.074	1.099
	3.0	1,781	786	σ_s	1,100	1,300	1,440	1,610	1,781	1,948	2,125	2,270	2,440
				σ_c	675	710	733	759	786	811	835	855	880
				σ_s/σ_{so}	0.618	0.714	0.809	0.904	1.000	1.094	1.193	1.275	1.370
				σ_c/σ_{co}	0.859	0.903	0.933	0.966	1.000	1.032	1.062	1.088	1.120
	4.0	1,767	791	σ_s	1,210	1,350	1,495	1,630	1,767	1,905	2,042	2,180	2,338
				σ_c	700	726	749	770	791	811	831	850	870
				σ_s/σ_{so}	0.685	0.764	0.846	0.922	1.000	1.078	1.155	1.233	1.323
				σ_c/σ_{co}	0.885	0.918	0.947	0.973	1.000	1.025	1.051	1.075	1.100

図 5. 主鉄筋間隔の誤差にともなう応力度の変化

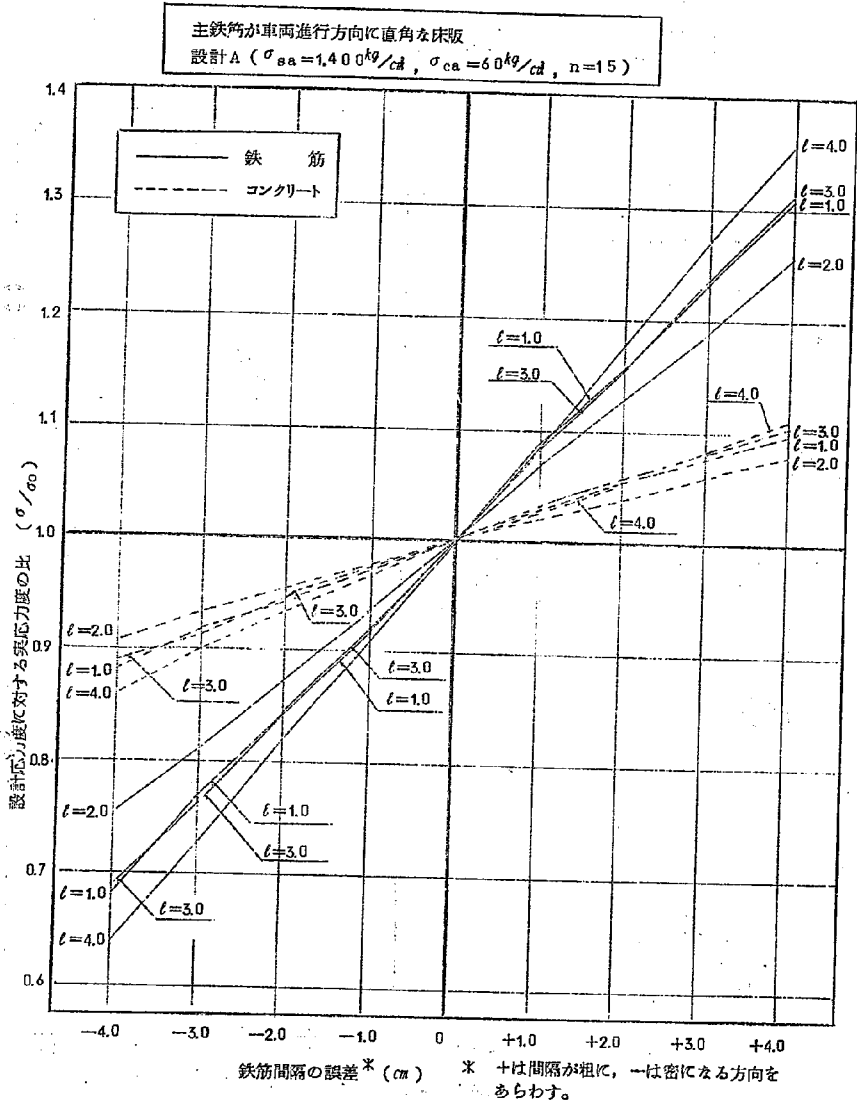


図 6. 主鉄筋間隔の誤差にともなう応力度の変化

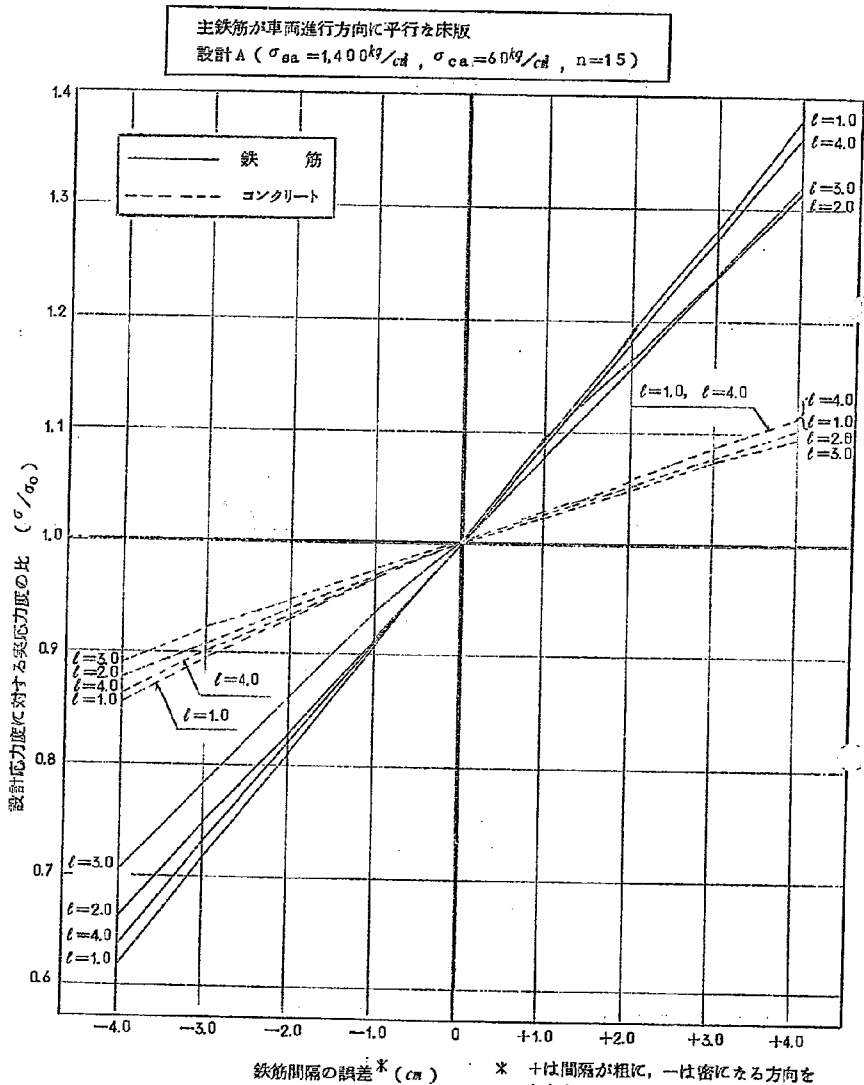


図7 主鉄筋間隔の誤差にともなう応力度の変化

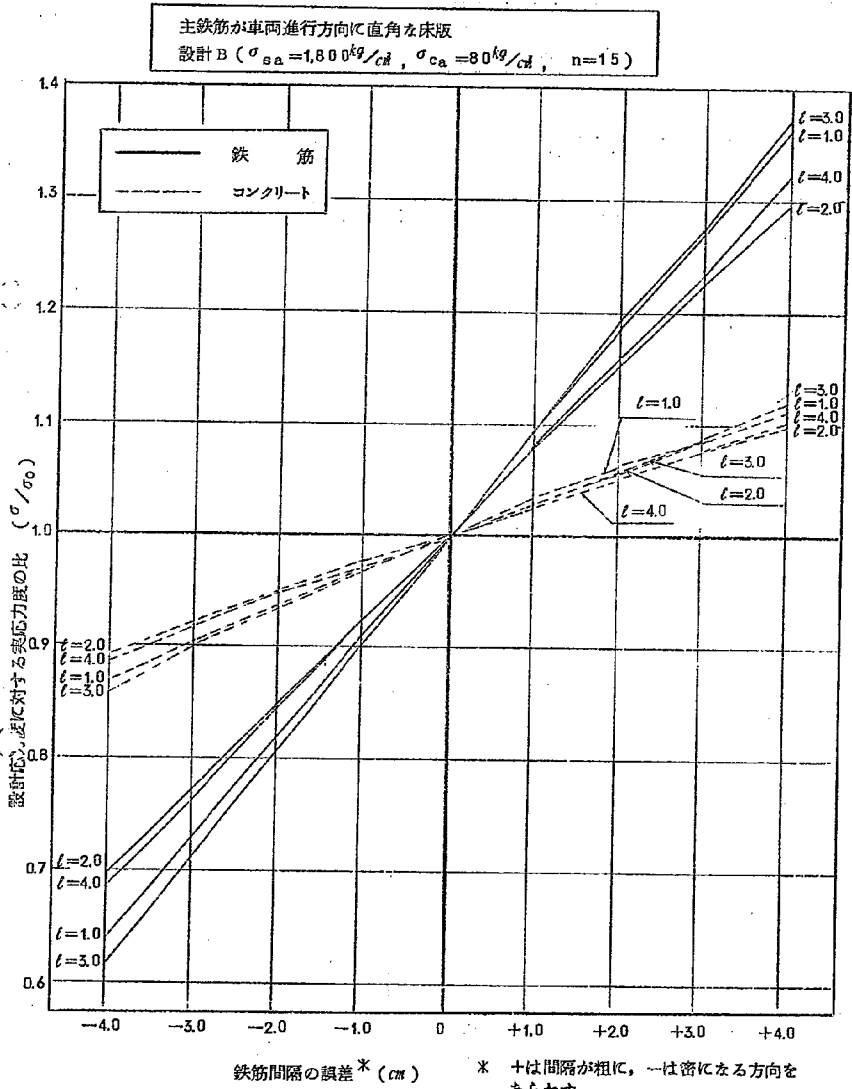


図8. 主鉄筋間隔の誤差にともなう応力度の変化

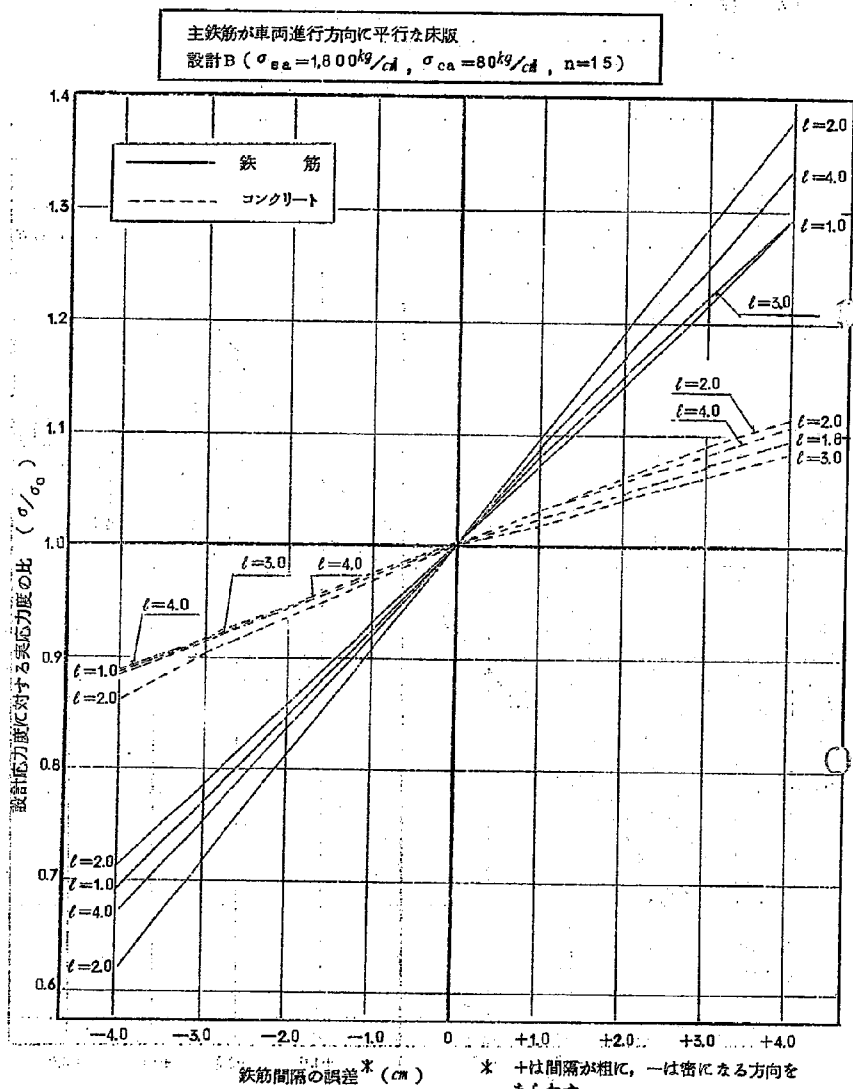


表8 nの誤差にともなう応力度の変化

(設計A ($\sigma_{sa}=1,400\text{kg/cm}^2$, $\sigma_{ca}=60\text{kg/cm}^2$, $n=15$))

主鉄筋 の方向	支 間 $l (m)$	設計応力度 (kg/cm^2)		実応力度と 設計応力度 に対する比	n					
		σ_{so}	σ_{co}		7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
車 両 進 行 方 向 に 直 角	1.0	1,354	58.6	σ_s	1,308	1,326	1,341	1,354	1,368	1,380
				σ_c	74.5	67.2	62.3	58.6	55.9	53.6
				σ_s/σ_{so}	0.966	0.979	0.990	1.000	1.010	1.019
				σ_c/σ_{co}	1.271	1.147	1.063	1.000	0.954	0.915
	2.0	1,368	58.8	σ_s	1,321	1,341	1,356	1,368	1,380	1,393
				σ_c	74.6	67.4	62.3	58.8	56.0	53.8
				σ_s/σ_{so}	0.966	0.980	0.991	1.000	1.009	1.018
				σ_c/σ_{co}	1.268	1.146	1.059	1.000	0.952	0.915
	3.0	1,340	57.4	σ_s	1,295	1,312	1,329	1,340	1,352	1,365
				σ_c	72.9	66.0	61.0	57.4	54.6	52.7
				σ_s/σ_{so}	0.966	0.979	0.992	1.000	1.009	1.019
				σ_c/σ_{co}	1.270	1.150	1.063	1.000	0.951	0.918
	4.0	1,360	59.0	σ_s	1,316	1,331	1,348	1,360	1,373	1,386
				σ_c	74.6	67.3	62.3	59.0	56.0	53.8
				σ_s/σ_{so}	0.966	0.979	0.991	1.000	1.010	1.019
				σ_c/σ_{co}	1.264	1.140	1.056	1.000	0.949	0.912
車 両 進 行 方 向 に 平 行	1.0	1,363	59.3	σ_s	1,316	1,332	1,350	1,363	1,378	1,388
				σ_c	75.1	68.8	63.0	59.3	56.4	54.1
				σ_s/σ_{so}	0.966	0.977	0.990	1.000	1.011	1.018
				σ_c/σ_{co}	1.266	1.160	1.062	1.000	0.951	0.912
	2.0	1,388	59.0	σ_s	1,339	1,356	1,372	1,388	1,400	1,410
				σ_c	75.0	67.6	63.0	59.0	56.1	54.0
				σ_s/σ_{so}	0.965	0.977	0.988	1.000	1.009	1.016
				σ_c/σ_{co}	1.271	1.146	1.068	1.000	0.951	0.915
	3.0	1,320	58.0	σ_s	1,272	1,288	1,304	1,320	1,332	1,342
				σ_c	73.6	66.4	61.5	58.0	55.3	53.1
				σ_s/σ_{so}	0.965	0.976	0.989	1.000	1.010	1.018
				σ_c/σ_{co}	1.269	1.145	1.06	1.000	0.953	0.916
	4.0	1,338	58.4	σ_s	1,290	1,310	1,322	1,338	1,350	1,360
				σ_c	74.0	66.6	61.8	58.4	55.5	53.4
				σ_s/σ_{so}	0.964	0.979	0.988	1.000	1.009	1.016
				σ_c/σ_{co}	1.267	1.14	1.058	1.000	0.950	0.914

表9 nの誤差にともなう応力度の変化

(設計B ($\sigma_s=1,800\text{kg/cm}^2$, $\sigma_c=80\text{kg/cm}^2$, $n=15$))

車 両 進 行 方 向 に 直 角	1.0	1,750	79.5	σ_s	1,688	1,713	1,732	1,750	1,769	1,780
				σ_c	100.5	90.8	84.3	79.5	75.7	72.8
				σ_s/σ_{so}	0.965	0.979	0.99	1.000	1.010	1.017
				σ_c/σ_{co}	1.264	1.142	1.06	1.000	0.952	0.916
	2.0	1,710	78.7	σ_s	1,650	1,672	1,695	1,710	1,729	1,750
				σ_c	100.0	90.0	83.5	78.7	75.2	72.3
				σ_s/σ_{so}	0.965	0.978	0.991	1.000	1.011	1.023
				σ_c/σ_{co}	1.271	1.144	1.061	1.000	0.956	0.919
	3.0	1,700	76.8	σ_s	1,645	1,660	1,682	1,700	1,718	1,730
				σ_c	96.6	87.3	80.8	76.8	72.6	70.0
				σ_s/σ_{so}	0.968	0.976	0.989	1.000	1.011	1.018
				σ_c/σ_{co}	1.258	1.137	1.052	1.000	0.945	0.911
	4.0	1,720	77.5	σ_s	1,658	1,680	1,700	1,720	1,738	1,745
				σ_c	98.1	88.5	82.2	77.5	73.8	71.0
				σ_s/σ_{so}	0.964	0.977	0.988	1.000	1.010	1.015
				σ_c/σ_{co}	1.266	1.142	1.061	1.000	0.952	0.916
車 両 進 行 方 向 に 平 行	1.0	1,709	76.5	σ_s	1,646	1,668	1,690	1,709	1,723	1,738
				σ_c	97.0	87.5	81.1	76.5	72.8	70.0
				σ_s/σ_{so}	0.964	0.977	0.989	1.000	1.009	1.018
				σ_c/σ_{co}	1.268	1.144	1.060	1.000	0.952	0.915
	2.0	1,771	78.1	σ_s	1,726	1,730	1,752	1,771	1,785	1,800
				σ_c	99.4	89.5	83.0	78.1	74.6	71.5
				σ_s/σ_{so}	0.975	0.977	0.989	1.000	1.008	1.016
				σ_c/σ_{co}	1.270	1.145	1.062	1.000	0.955	0.915
	3.0	1,781	78.6	σ_s	1,735	1,740	1,761	1,781	1,795	1,810
				σ_c	99.8	90.0	83.4	78.6	75.0	72.0
				σ_s/σ_{so}	0.974	0.977	0.989	1.000	1.008	1.016
				σ_c/σ_{co}	1.269	1.145	1.061	1.000	0.954	0.916
	4.0	1,767	79.1	σ_s	1,708	1,728	1,750	1,767	1,782	1,798
				σ_c	100.0	89.0	83.8	79.1	75.4	72.4
				σ_s/σ_{so}	0.967	0.978	0.99	1.000	1.008	1.018
				σ_c/σ_{co}	1.264	1.143	1.059	1.000	0.953	0.915

図 9. n の誤差にともなう応力度の変化

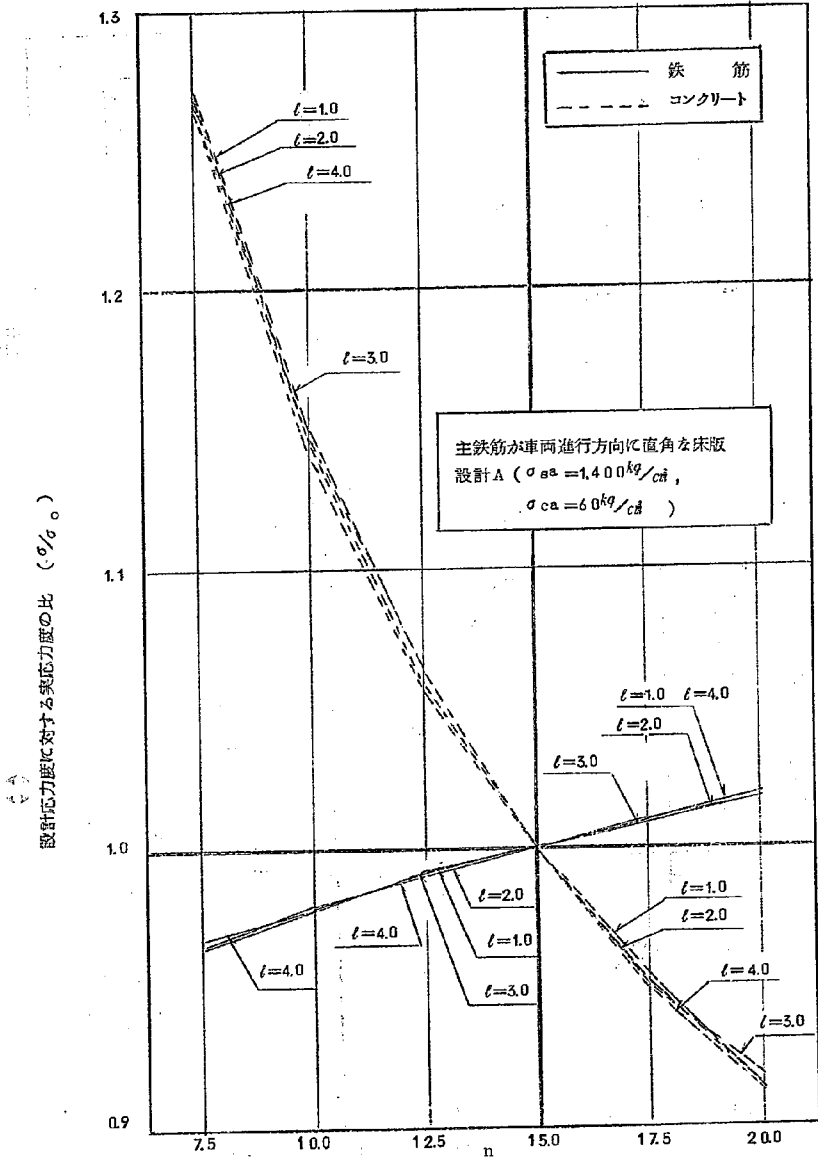


図 10. n の誤差にともなう応力度の変化

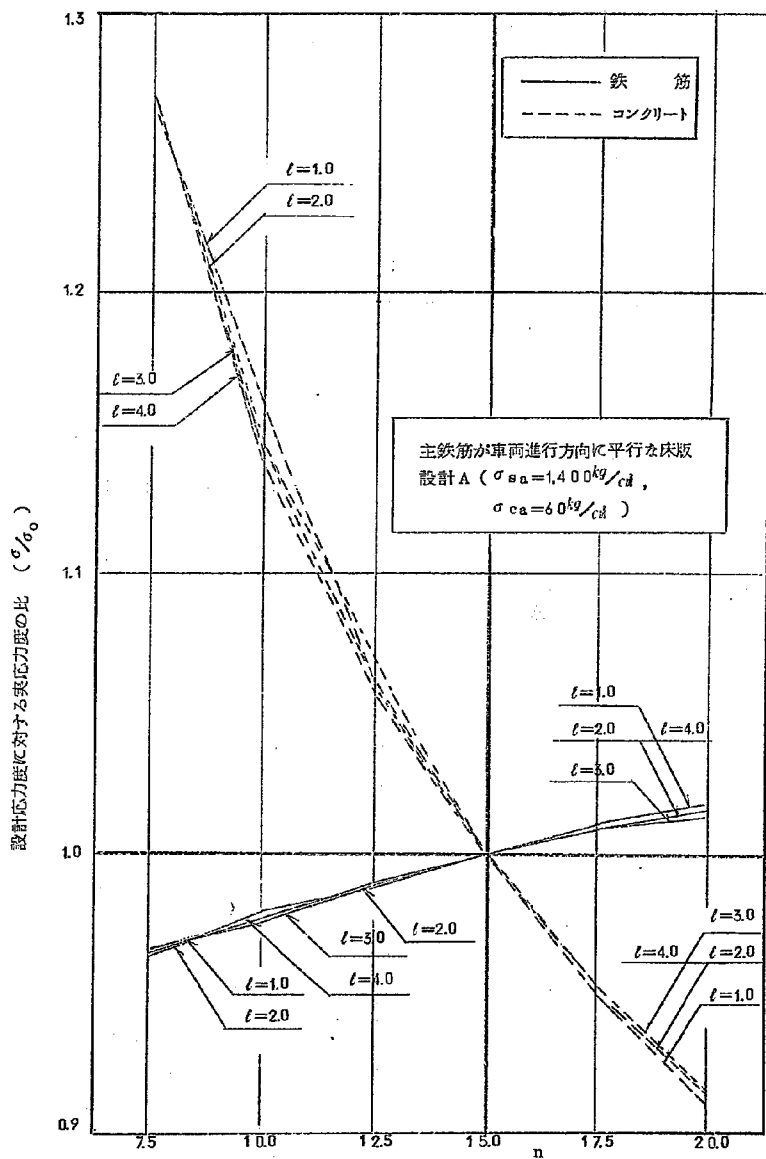


図 1.1. n の誤差にともなう応力度の変化

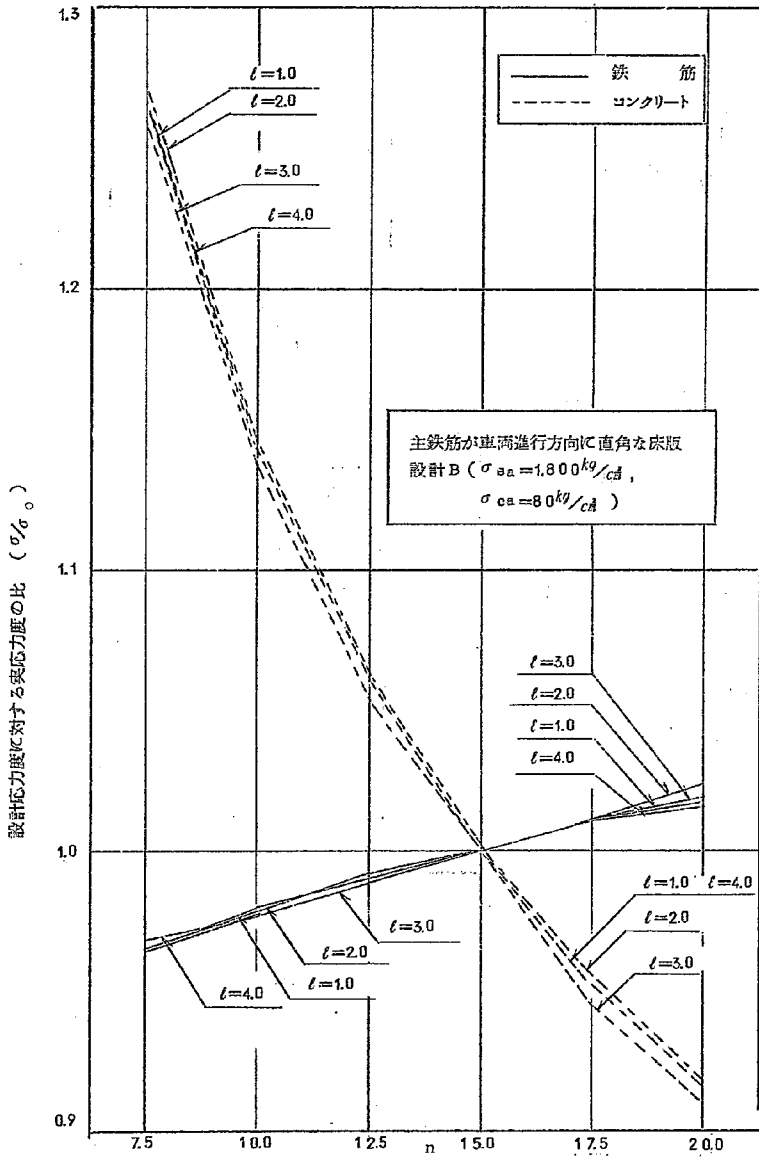
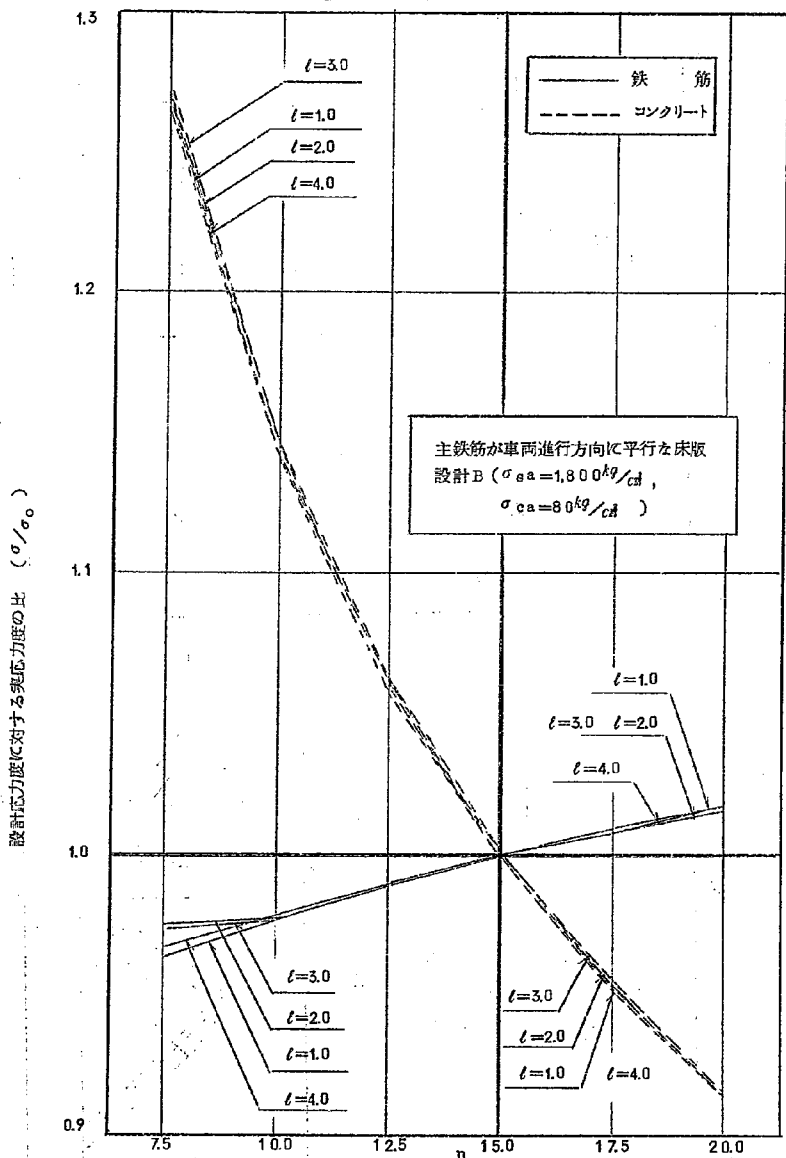


図 1.2. n の誤差にともなう応力度の変化



3. 考 察

2.にかかげた図表より、主鉄筋の有効高、主鉄筋間隔および n の誤差にともなり応力度の変化の傾向について要約すると、つぎのようである。

(1) 主鉄筋の有効高の誤差による応力度の変化

- 1) 有効高が設計値より小さくなるほど鉄筋およびコンクリートの応力度は設計値を超過する。誤差量を一定とすれば版厚の薄い短支間の床版ほど、また高強度材料を用いて版厚を薄くした床版ほど応力度の変動率が大きい。

有効高 d の設計値に対する誤差 d_e が -2.0 cm の場合の設計応力度に対する実応力度の比は表9のようであり、床版の支間、使用材料、床版の向き（主鉄筋の方向）などに応じて、主鉄筋で $8\sim20\%$ 、コンクリートで $15\sim40\%$ 程度の応力超過となる。

- 2) 主鉄筋が車両進行方向に直角な床版では、主鉄筋が車両進行方向に平行な床版の場合よりも一定誤差による応力度への影響が大きい。設計応力度に対する実応力度の比 σ/σ_o で比較すれば、前者は後者の 10% 前後の増となる。

表9 主鉄筋有効高の誤差による応力度の変化

設計	主鉄筋の方向	$l = 1.0\text{ m}$		$l = 4.0\text{ m}$	
		σ_s/σ_{so}	σ_c/σ_{co}	σ_s/σ_{so}	σ_c/σ_{co}
A	車両進行方向に直角	1.10	1.17	1.20	1.33
	〃 平行	1.08	1.12	1.15	1.26
B	車両進行方向に直角	1.13	1.21	1.24	1.41
	〃 平行	1.10	1.14	1.20	1.32

(2) 主鉄筋間隔の誤差による応力度の変化

- 1) 設計値よりも主鉄筋間隔が密になると、主鉄筋、コンクリートとも実応力比 σ/σ_o は減少し、間隔が粗になるとこれらは増大する。主鉄筋間隔の誤差量とそれによりなり応力度の変動率（ σ/σ_o ）は直線関係にある。

主鉄筋間隔の誤差 $\pm 1.0\text{ cm}$ あたりの設計応力度に対する応力超過率は、鉄筋で $\pm 10\%$ 、コンクリートで $\pm 25\%$ 程度である。

- 2) 1)の傾向および応力変化の程度は、床版の支間、床版の方向（主鉄筋の方向）、使用材料などの如何にかかわらずほとんど一定である。

(3) n の誤差による応力度の変化

- 1) 設計 n 値よりも実際の n 値が大きいと設計応力度に対して主鉄筋応力度はやゝ増大, コンクリート応力度は減少し, 設計 n 値よりも実際の n 値が小さいと, 主鉄筋応力度はやゝ減少, コンクリート応力度は増大する。

設計 n 値 1.5 に対して実際の n 値が 1.0 であった場合の, 設計応力度に対する応力超過率は, 鉄筋で約 2%, コンクリートで約 15% となる。

- 2) 1) の傾向および応力変化の程度は, 床版の支間, 床版の向き (主鉄筋の方向), 使用材料等の如何にかかわらずほとんど一定である。

以上の施工誤差にかかわる 3 つの因子について, 設計値に対する応力度の変化の傾向を集約すると表 1.0 のようであるが, 通常の施工において起りうる誤差の範囲をかりに,

- 1) 主鉄筋有効高 : 設計値に対して ± 2.0 cm
- 2) 主鉄筋間隔 : " " ± 2.0 cm
- 3) n 値 : " " ± 5.0

と仮定すると, この範囲において応力度におよぼす影響の大きさは, 1) 主鉄筋有効高, 2) 主鉄筋間隔, 3) n 値の順となる。

表 1.0. 施工誤差による応力度の増減の傾向

因 子	主 鉄 筋		コ ン ク リ ー ト	
	減 少	設計値 ↑ 増 大	減 少	設計値 ↑ 増 大
主鉄筋有効高 d	↖	↗	↖	↗
主鉄筋間隔 p	↖	↗	↖	↗
n	↖	↗	↖	↗
累 積	↖	↗	↖	↗

このような各因子による誤差は, 一般には 2 つ以上が同時に生ずると考えられ, それが応力度におよぼす影響はたがいに累積または相殺されるものと考えられるが, 一つの目安を得るために, このような誤差の累積が危険側に生じた場合の一例として, 主鉄筋有効高の誤差 $d_0 = -2.0$ cm (設計値より 2.0 cm 小さい場合), 主鉄筋間隔の誤差 $p_0 = +2.0$ cm (設計値よりも 2.0 cm 余計にビッ

チを広げた場合), n の誤差 $n_e = -5.0$ (設計値 1.5 に対し, 実際の n が 1.0 であった場合) が同時に生じた場合の応力度に対する累積された影響を求めてみると, 表 1.1 のようになる。

表 1.1. 施工誤差の累積による応力度への影響の一例

設計	主鉄筋の方向	$l = 1.0 \text{ m}$		$l = 4.0 \text{ m}$	
		σ_g/σ_{go}	σ_c/σ_{co}	σ_g/σ_{go}	σ_c/σ_{co}
A	車両進行方向に直角	1.28	1.37	1.38	1.53
	平行	1.26	1.32	1.33	1.46
B	車両進行方向に直角	1.31	1.41	1.42	1.61
	平行	1.28	1.34	1.38	1.52

注) $d_e = -2.0 \text{ cm}$, $p_e = +2.0 \text{ cm}$, $n_e = -5.0$

これらより, 通常の施工において起りうる程度の誤差について考えると, 最も影響の大きい因子である主鉄筋有効高の誤差が -2.0 cm の場合に, 鉄筋およびコンクリートの応力超過率はそれぞれ $8 \sim 20 \%$ および $15 \sim 40 \%$ 程度と, かなり大きな影響があるが, これに加えて他の因子による影響が危険側に累積されると $40 \sim 60 \%$ 程度の応力超過も起りうるわけで, このような場合には床版の耐力に直接的に影響がおよぶことも推測される。

このような施工誤差が, かりに床版全体にわたって一様に生ずる場合には床版全体の耐力が低下せしめられることは勿論, このような誤差が, たとえば 1 m 以下の範囲内において局部的に生じた場合にもその部分が弱点となって, のちにその欠陥を暴露することとなる。

いま, 応力的な見地から, 許容しうる施工誤差, とくに応力配におよぼす影響の大きい配筋の誤差について許容しうる限度を考えるに, 一つの目安として鋼道路橋設計示方書の床版曲げモーメント計算式が理論値に対して約 20% の余裕をふくんでいることから, 配筋誤差による応力超過がそれらが累積された結果において 20% までとすれば, 主鉄筋有効高および間隔の誤差がともに危険側に生ずるとき, それぞれの誤差の許容値は 1.0 cm 程度となる。

n 値については, 用いるコンクリートの材料・配合との関係において適正な n 値を設計において用い, かつ設計どおりの品質のコンクリートが得られるように施工管理することにより設計値と実際の値との差をちぢめうるものであり, またそのように配慮さるべきであろう。

あとがき

鉄筋コンクリート床版の施工誤差が応力度におよぼす影響について検討した結果、つぎのことがたしかめられた。

- 1) 主鉄筋の有効高の誤差による応力度への影響は、たとえば誤差が -2.0 cm のとき鉄筋で約20%, コンクリートで約40%程度までの応力超過をきたすように、その影響が大きい。とくに版厚のうすい短支間の床版の場合または高強度の材料を用いて版厚をうすくする場合において、一定誤差量に対する影響が大きくなる。
- 2) 主鉄筋間隔の誤差量とそれによる応力度変化量とは直線関係にあり、主鉄筋間隔の誤差 $\pm 1.0\text{ cm}$ あたりの応力変動率は、床版の支間、床版の主鉄筋方向、使用材料などの如何にかかわらず鉄筋で約 $\pm 10\%$ 、コンクリートで約 $\pm 2.5\%$ となる。
- 3) n の誤差による影響は、たとえば設計 n 値15に対して実際の n 値が10であった場合、コンクリート応力は設計応力の約15%増となる。
- 4) これらの誤差が危険側に累積された場合、たとえば有効高誤差 -2.0 cm (有効高 2.0 cm 減少)、鉄筋間隔誤差 $+2.0\text{ cm}$ (ピッチを 2.0 cm 余計に粗くした場合)、 n の誤差 -5.0 (設計値15に対し実際には10であった場合)が累積されると、鉄筋およびコンクリートの設計応力度に対する応力超過率は40~60%にもおよぶ。
- 5) 主鉄筋の有効高および間隔のそれぞれの誤差が累積される場合を考えると、設計値に対する応力変動率は $\pm 20\%$ 程度以下におさえるためには、それぞれの誤差は $\pm 1.0\text{ cm}$ 程度以下におさえる必要がある。とくに、主鉄筋有効高はできるだけ設計値を保つように注意すべきであり、それによる効果が大きい。

この資料ではかざられた設計例について施工誤差の影響を検討したのみであるが、重要な床版の工事にあたっては、あらかじめこのような検討を行なって施工管理の基準を把握しておくことが重要であると考えられる。