

## 第6章 すべり係数を変化させた試設計と高いすべり係数の適用による経済性の評価

### 6.1 概論

現在、高力ボルト摩擦接合継手の合理化に関して、様々な検討が行われている。合理化方法の1つとして、すべり係数を0.4より大きな値を使用する方法もある。これにより、連結板重量やボルト本数(ボルト行数×列数)が低減でき、合理的なボルト継手となる。しかし、これまですべり係数が大きくなることにより、どの程度合理化効果が得られるのかを検討した報告はない。

本章は、高力ボルト摩擦接合継手において、高いすべり係数を適用することによる鋼橋の合理化効果を明らかにすることを目的としたものである。本章では、まず、すべり係数を0.4, 0.5, 0.6と変化させて2タイプの橋梁モデルで試設計を行い、どの程度ボルト本数や連結板重量が低減できるのかを調べた。これらの結果をもとに、積算上での連結部の工事費用を算出し、経済性の評価を行った。

### 6.2 すべり係数をパラメータとした試設計

#### 6.2.1 設計モデルの説明および設計方法

高いすべり係数を適用した場合の合理化効果を調べるため、2つの設計モデルを対象にこれらを調べることにした。対象としたモデルは、鈑桁橋(モデルⅠ)と箱桁橋(モデルⅡ)の2つである。

表-6.1と図-6.1に対象モデルの詳細を示す。モデルⅠは、ウェブ高2.7m、主桁間隔6.0mの合成床版を有する3径間連続非合成鈑桁橋であり、フランジ幅は上下フランジ820mmの少数主桁橋タイプである。モデルⅡは、ウェブ高2.3m、主桁間隔6.5mのRC床版を有する2径間連続非合成箱桁橋で、フランジ幅は2.20mの従来型箱桁橋である。

試設計では、ここではS10T-M22ボルトを使用することとし、ボルト継手の計算においては、すべり係数を0.4, 0.5, 0.6と変化させた。また、設計法は従来の許容応力度設計法に従った。なお、すべり係数を変化させた場合、部材の材片数や主桁の重量は変わらず、変化するのは連結板重量とボルト本数である。この2項目を比較検討し、合理化効果を評価した。

#### 6.2.2 試設計の結果

表-6.2に試設計結果から算出したボルト本数、孔数および連結板重量算出結果を示す。また、各モデルにおけるすべり係数0.4のときのボルト本数および連結板重量を100%として、すべり係数を変化させた場合の各比率をそれぞれ図-6.2, 6.3に示す。さらに、表-6.3にはウェブにおけるボルト列数と連結板重量の計算結果の一例を示している。なお、連結部の詳細については、図-6.5から図-6.13に示す。

図-6.2はボルト本数比率を示したものであるが、すべり係数が高くなることにより

ボルト本数は低減されている。その低減の程度はモデルの違いによる差は若干あり、そのボルト本数は、 $\mu=0.4$ の場合にと比べて  $\mu=0.5$  ではモデル I, II ともにも 80%,  $\mu=0.6$  ではモデル I で 66%, モデル II で 72% となっている。また、同じモデルであってもフランジとウェブによっても違いが生じていた。フランジでは、モデル I よりモデル II の方が若干低減効果が小さかった。これは、モデル II の従来箱桁フランジではリブ間隔が狭く、合理的なボルト配置ができなかったことによる影響である。次に、ウェブにおいては表-6.3 に示すように、例えばモデル I の J2 位置では、 $\mu=0.4$  で 5 列であったボルト配置が、 $\mu=0.5$  では 4 列、 $\mu=0.6$  では 3 列になったことで、比率も比例して小さくなり、図-6.2 に示すように、 $\mu=0.6$  では全ウェブ本数比率が約 64% に低減した。多くのウェブ継手部では  $\mu=0.6$  で 3 列となったが、J1 では  $\mu=0.6$  でも 4 列となるケースも生じた。モデル II では、 $\mu=0.4$  で 4 列であったボルト配置が、 $\mu=0.5$  では 3 列、 $\mu=0.6$  では 2 列になった。しかし、J3 のように  $\mu=0.6$  では 3 列のままであり、モデル II において、 $\mu=0.6$  での低減効果はモデル I より小さくなる結果となった。なお、ここで示したボルト本数は、各継手位置のすべり耐力を丁度満たしている訳ではなく、実際には、ボルト本数には多少余裕を持っている。これは、ボルト本数は行数と列数の積で決まるからであり、ボルト行数と列数の関係で、さらに、ボルト本数が低減される場合も生じる。

図-6.3 には連結板重量比率を示している。フランジにおいて、モデル II ではボルト本数比率と大きな違いはなかったが、モデル I では低減効果に違いが生じた。これは、鉸桁橋であるモデル I のフランジでは、約半分の継手で千鳥配置を採用しており、千鳥配置では連結板形状が長方形でないので、ボルト本数が少なくなっても連結板のネット重量の違いが少なく、その影響でモデル I のフランジでは低減率は小さかった。このため、連結板重量比率は、若干ボルト本数比率より小さい値を示していた。次に、ウェブでは、モデル I, II ともにもボルト本数比率とほぼ同じであった。フランジとウェブを合わせた連結板重量は、 $\mu=0.5$  を用いればモデル I で 84.4%, モデル II で 81.3% に低減され、さらに、 $\mu=0.6$  を用いればモデル I で 74.9%, モデル II では 73.9% に低減される結果となった。

### 6.3 経済性の評価

前節では、2つの橋梁モデルで試設計を行い、全継手部の数量を算出した。本節では、これらの数量から具体的な連結部のボルト施工に必要な工事費(以下、ボルト工事費)を算出し、高いすべり係数を適用することによる経済性の評価を行った。

表-6.4, 6.5 と図-6.4 に積算上の各費用算出結果を示す。これらを算出するにあたり、工場原価については、積算基準<sup>43)</sup>に従い箇々の費用を算出し、工事原価については工事積算<sup>44)</sup>を用いて算出した。鋼材費については、建設物価<sup>45)</sup>を用いて鋼種および板厚ごとの費用を算出した。また、ボルト購入費(以下、ボルト費)は、ボルトメーカー3社に対して見積りを依頼して費用を算出した。ここでは、3社の平均値を用いることとし、200円/本として計算した。

表-6.4, 6.5 に示すように、すべり係数が高くなることにより、工事価格は大きく低

減された。間接費(管理費も含む)を除いた直接費の中で、連結板重量に依存するのは、鋼材費と製作費であり、ボルト本数に依存するのは、HTB本締工およびボルト購入費である。全費用(ボルト工事費)に含まれる製作費の割合が大きいこともあり、低減効果は各モデルともに、表-6.3で示した連結板重量比率に近い値を示した。ボルト工事費の低減効果は、 $\mu=0.5$ ではモデルIで186万円、モデルIIで266万円であり、さらに、 $\mu=0.6$ ではモデルIで303万円、モデルIIで385万円低減できる結果となった。また、価格比率としては、 $\mu=0.5$ ではモデルIで83.5%、モデルIIで82.8%であり、さらに、 $\mu=0.6$ ではモデルIで73.0%、モデルIIで75.1%に低減された。

以上のように、すべり係数を高くすることにより、積算上での連結部の施工費用は大きく低減し、鋼橋の経済性が発揮されるものと考えられる。

表-6.1 試設計モデル

	モデル I	モデル II
橋梁形式	連続非合成鈹桁	連続非合成箱桁
径間数	3径間	2径間
支間長(m)	130m(40+50+40)	86.5m(43.25+43.)
部材長(m)	10m	12m
ブロック数	11	9
床版	合成床版	RC床版(210mm)
使用鋼材	SM490YB	SM490Y
フランジ幅(上下)	820mm	2200mm
下フランジ幅	26~48mm	14~44mm
下フランジ厚	27~47mm	19~40mm
ウェブ厚	14mm	12mm

表-6.2 ボルト本数および連結板重量算出結果

			モデル I			モデル II		
			$\mu=0.4$	$\mu=0.5$	$\mu=0.6$	$\mu=0.4$	$\mu=0.5$	$\mu=0.6$
ボルト	本数	フランジ	3232	2544	2208	6792	5456	4848
		ウェブ	5200	4160	3328	5280	4224	3872
		合計	8432	6704	5536	12072	9680	8720
	本数比率		100%	79.5%	65.7%	100%	80.2%	72.2%
	重量(kg)	フランジ	2020	1588	1380	3724	2988	2648
		ウェブ	2720	2180	1740	2684	2144	1964
合計		4740	3768	3120	6408	5132	4612	
重量比率		100%	79.5%	65.8%	100%	80.1%	72.0%	
孔数	母板	フランジ	3232	2544	2208	6792	5456	4848
		ウェブ	5200	4160	3328	5280	4224	3872
	連結板	フランジ	7376	5808	5056	17276	13832	12352
		ウェブ	10400	8320	6656	10560	8448	7744
	合計		26208	20832	17248	39908	31960	28816
	孔数比率		100%	79.5%	65.8%	100%	80.1%	72.2%
連結板	重量(kg)	フランジ	7296	6350	6000	10636	8656	7804
		ウェブ	5680	4600	3720	5840	4736	4364
		合計	12976	10950	9720	16476	13392	12168
	重量比率		100%	84.4%	74.9%	100%	81.3%	73.9%

(注) フィラープレートの重量は、フランジ連結板重量中に含む。  
 フィラープレートの孔数は、フランジ連結板孔数中に含む。

表-6.3 ウェブの連結板重量比較の一例

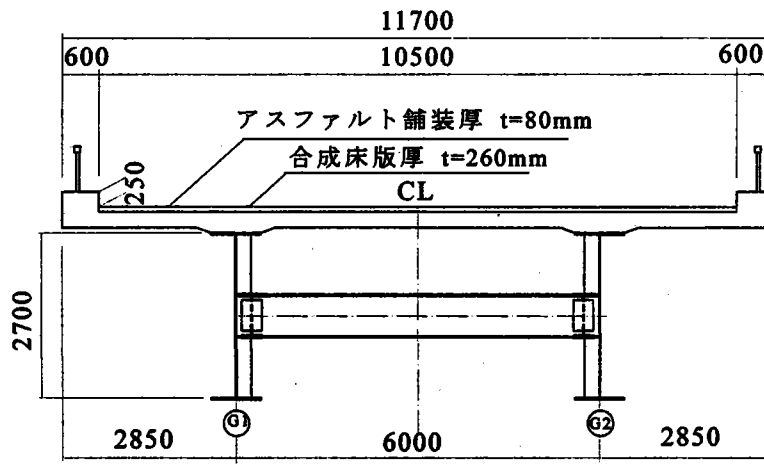
モデル I						モデル II					
位置	摩擦係数	行×列	寸法 (mm)	重量 (kg)	位置	摩擦係数	行×列	寸法 (mm)	重量 (kg)		
J1	$\mu=0.4$	26   5	2580×9×780	142.2	J1	$\mu=0.4$	22   4	2180×9×630	97.0		
	$\mu=0.5$	26   4	2580×9×630	114.8		$\mu=0.5$	22   3	2180×9×480	73.9		
	$\mu=0.6$	26   4	2580×9×630	114.8		$\mu=0.6$	22   3	2180×9×480	73.9		
J2	$\mu=0.4$	26   5	2580×9×780	142.2	J3	$\mu=0.4$	22   4	2180×9×630	97.0		
	$\mu=0.5$	26   4	2580×9×630	114.8		$\mu=0.5$	22   3	2180×9×480	73.9		
	$\mu=0.6$	26   3	2580×9×480	87.5		$\mu=0.6$	22   2	2180×9×330	50.8		

表-6.4 モデルⅠの積算上での連結部の費用の集計結果

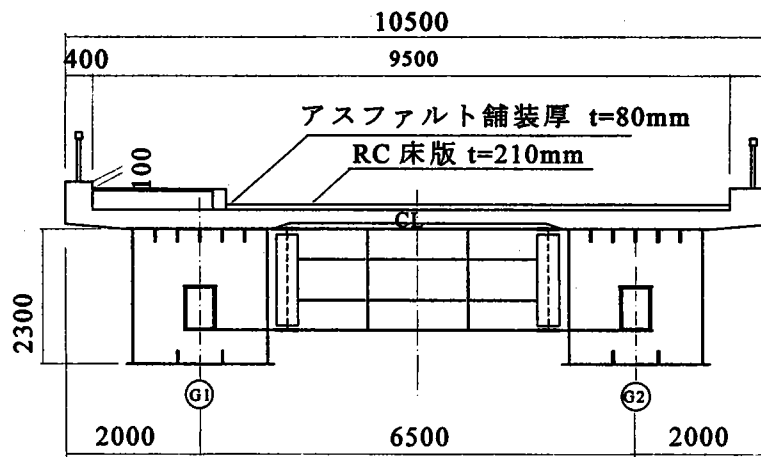
		モデルⅠ		
		$\mu=0.4$	$\mu=0.5$	$\mu=0.6$
工場原価	鋼材費	¥1,092,512	¥922,032	¥818,502
	ボルト費	¥1,686,400	¥1,340,800	¥1,107,200
	副資材費	¥146,628	¥123,735	¥109,836
	製作費	¥3,165,796	¥2,692,324	¥2,405,446
	間接労務費	¥1,203,002	¥1,023,083	¥914,069
	工場管理費	¥1,258,205	¥1,070,027	¥956,011
架設原価	HTB本締工	¥873,069	¥705,289	¥588,940
	共通仮設費	¥188,932	¥152,624	¥127,446
	現場管理費	¥277,500	¥224,172	¥187,191
一般管理費		¥1,342,078	¥1,124,259	¥987,297
工事価格(合計)		¥11,234,122	¥9,378,345	¥8,201,938
$\mu=0.4$ に対する 低減効果	価格低減値		¥1,855,777	¥3,032,184
	比率		83.5%	73.0%

表-6.5 モデルⅡの積算上での連結部の費用の集計結果

		モデルⅡ		
		$\mu=0.4$	$\mu=0.5$	$\mu=0.6$
工場原価	鋼材費	¥1,366,059	¥1,110,434	¥1,008,901
	ボルト費	¥2,414,400	¥1,936,000	¥1,744,000
	副資材費	¥186,178	¥151,329	¥137,498
	製作費	¥4,355,778	¥3,688,862	¥3,419,794
	間接労務費	¥1,655,195	¥1,401,767	¥1,299,521
	工場管理費	¥1,731,148	¥1,466,094	¥1,359,160
架設原価	HTB本締工	¥1,245,145	¥990,996	¥890,193
	共通仮設費	¥269,449	¥214,451	¥192,637
	現場管理費	¥395,763	¥314,983	¥282,943
一般管理費		¥1,828,271	¥1,517,145	¥1,259,647
工事価格(合計)		¥15,447,386	¥12,792,061	¥11,594,294
$\mu=0.4$ に対する 低減効果	価格低減値		¥2,655,325	¥3,853,092
	比率		82.8%	75.1%



(a) モデル I



(b) モデル II

図-6.1 試設計モデル

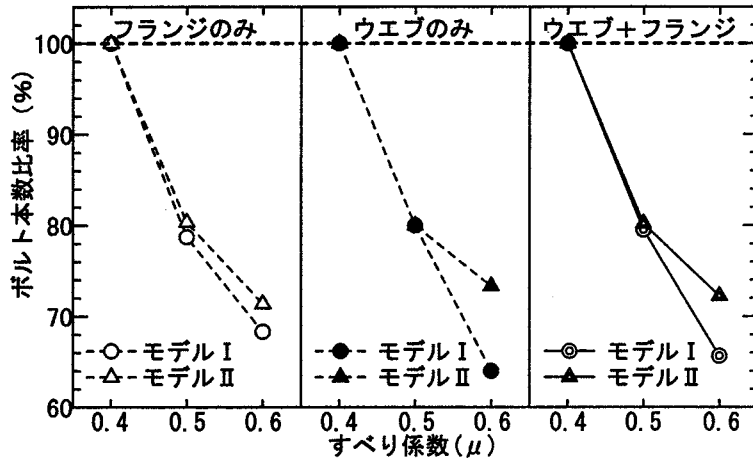


図-6.2 ボルト本数比率

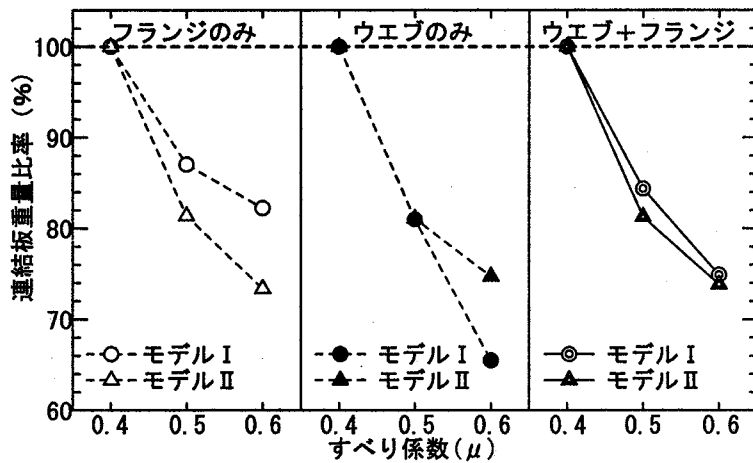


図 6.3 連結板重量比率

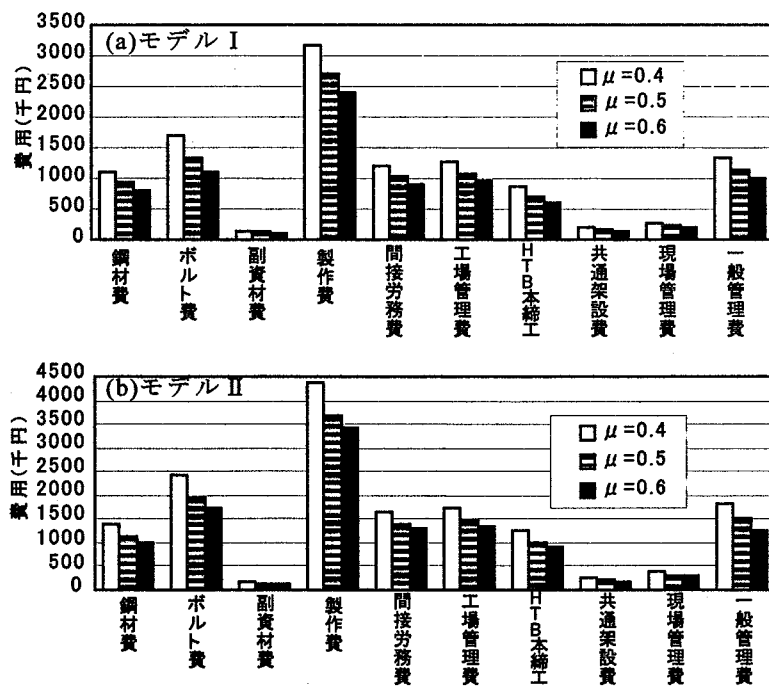


図-6.4 積算上での連結部の各費用

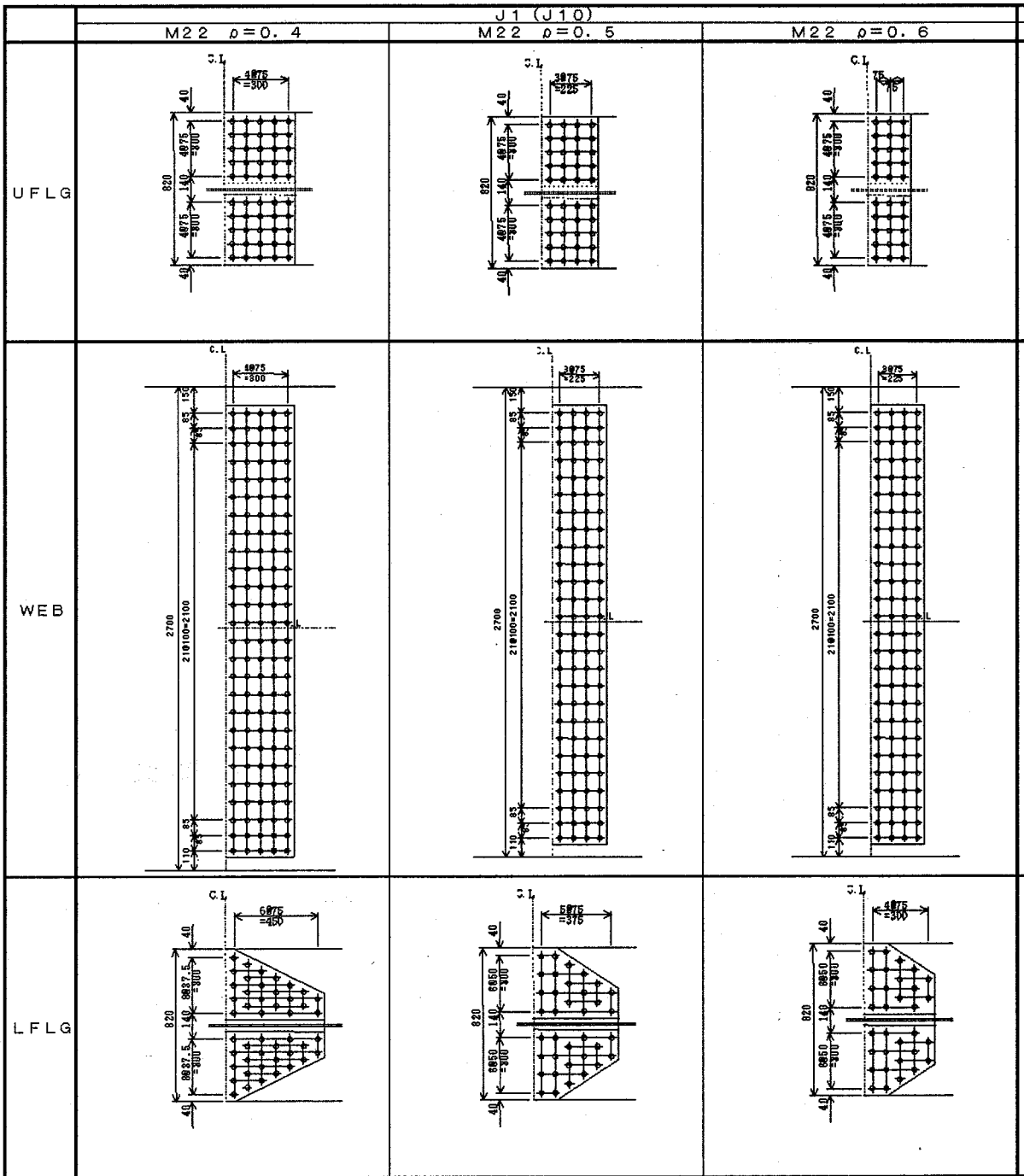


図-6.5 モデル I の J1 および J10 での連結版の構造詳細



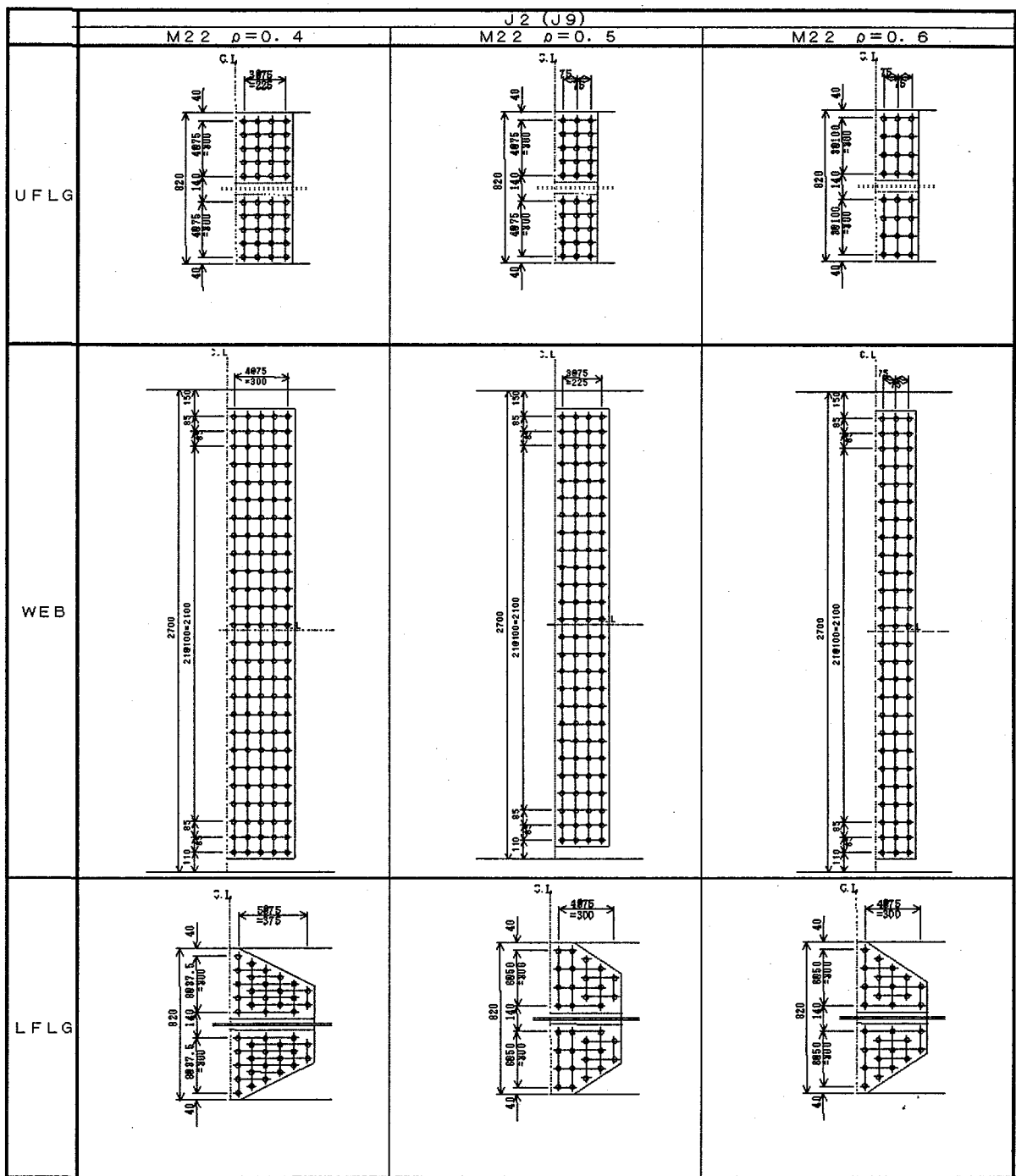


図-6.6 モデル1のJ2およびJ9での連結版の構造詳細

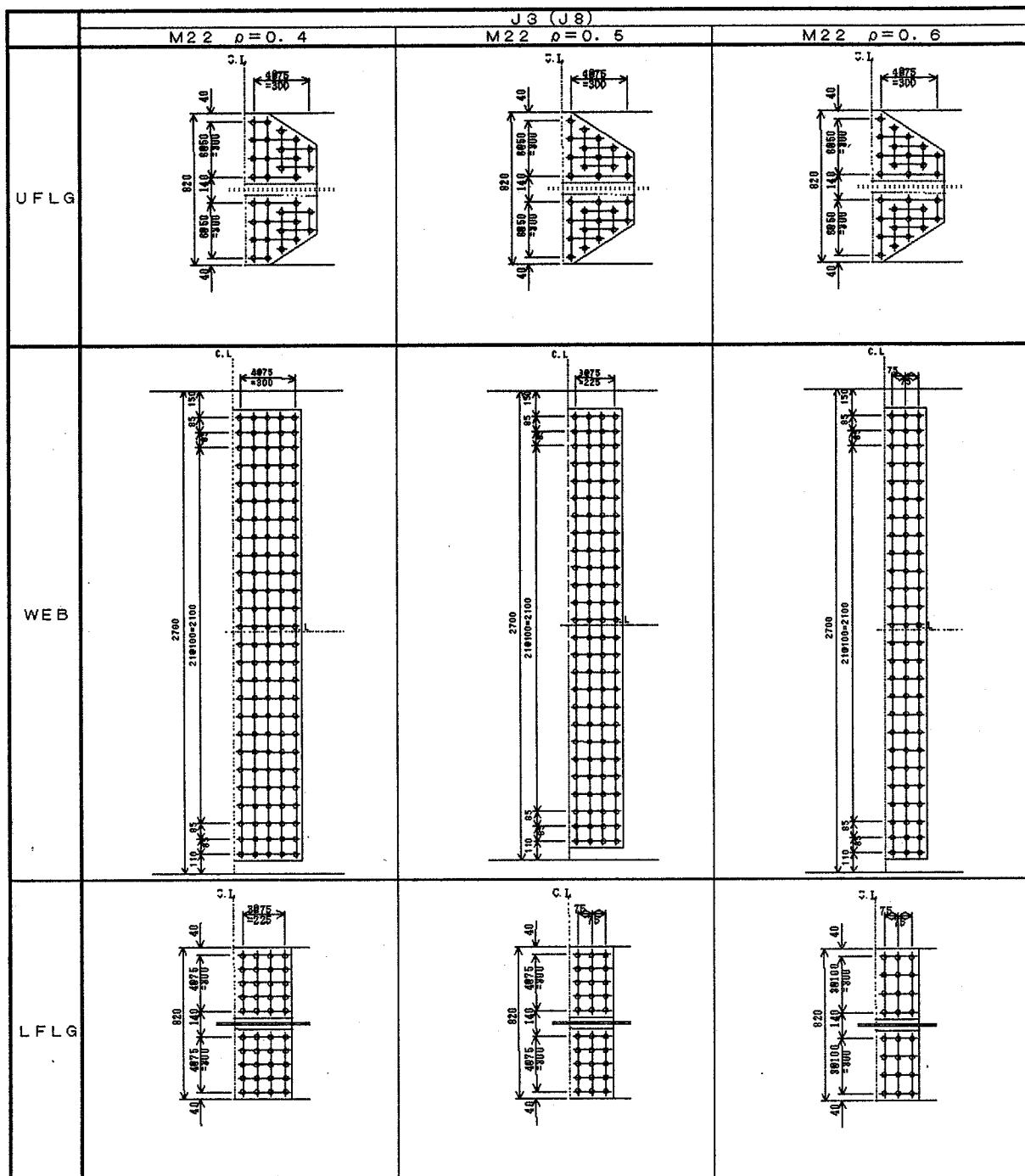


図-6.7 モデル I の J3 および J8 での連結版の構造詳細

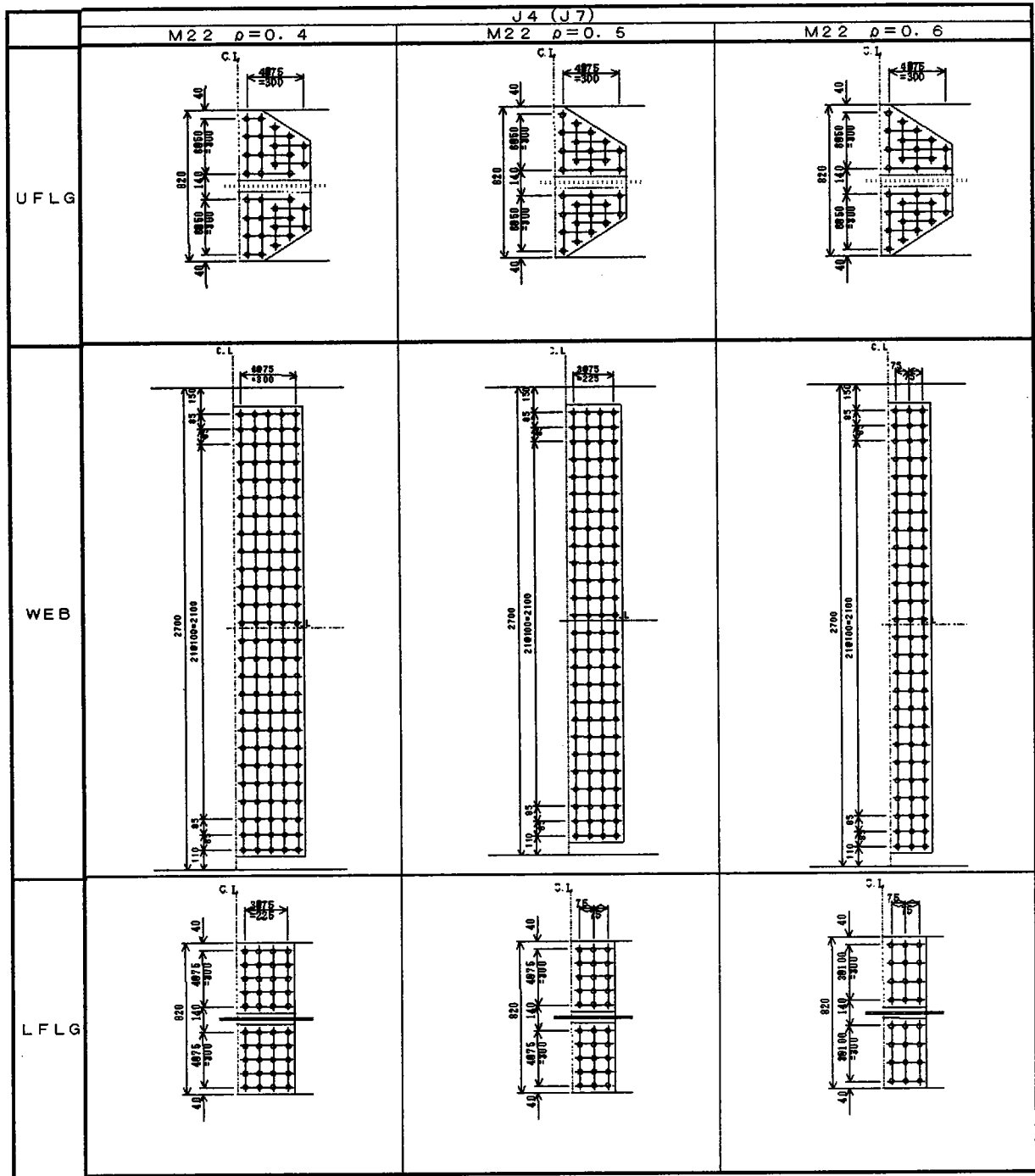


図-6.8 モデル I の J4 および J7 での連結版の構造詳細

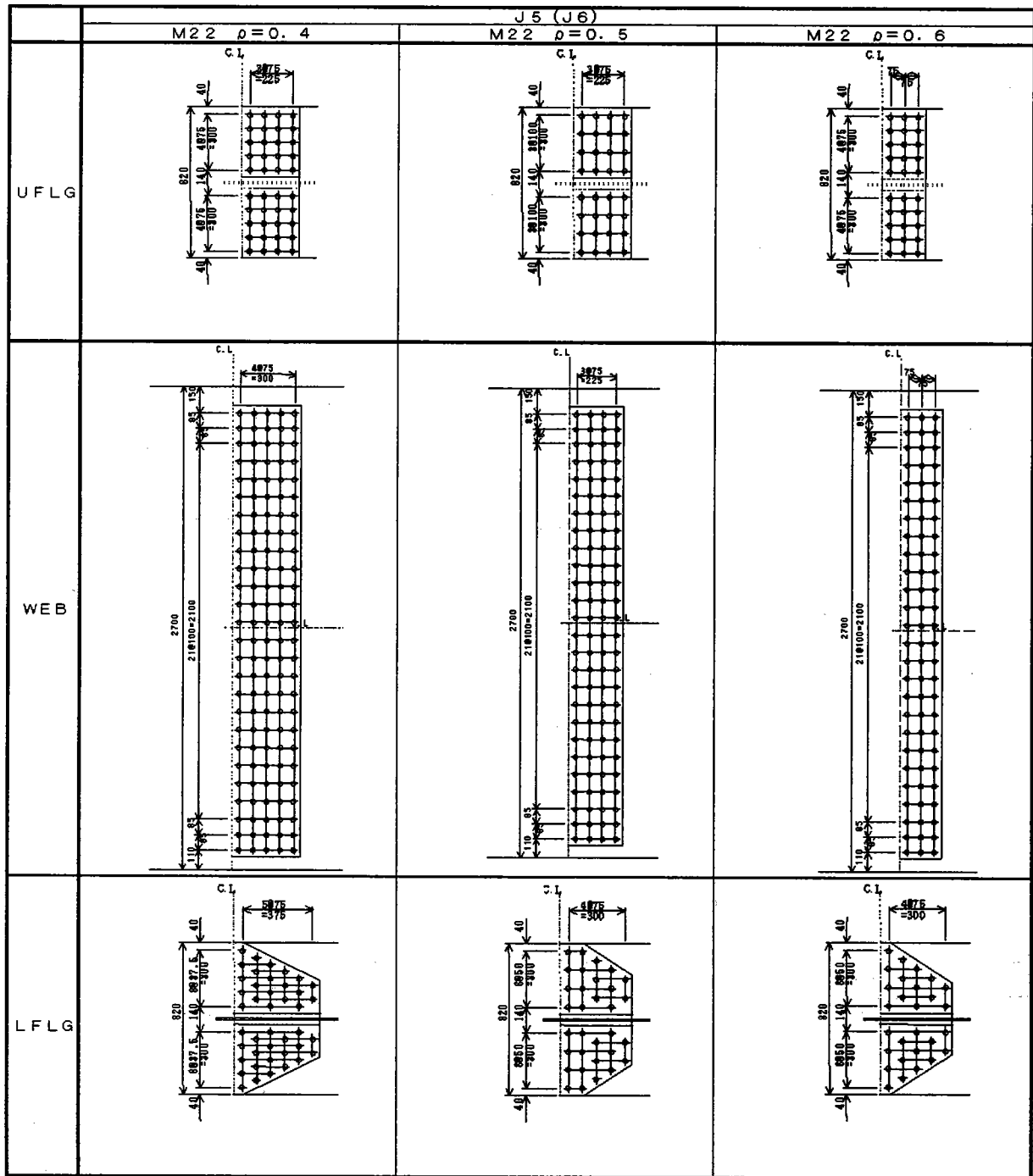


図-6.9 モデル I の J5 および J6 での連結版の構造詳細

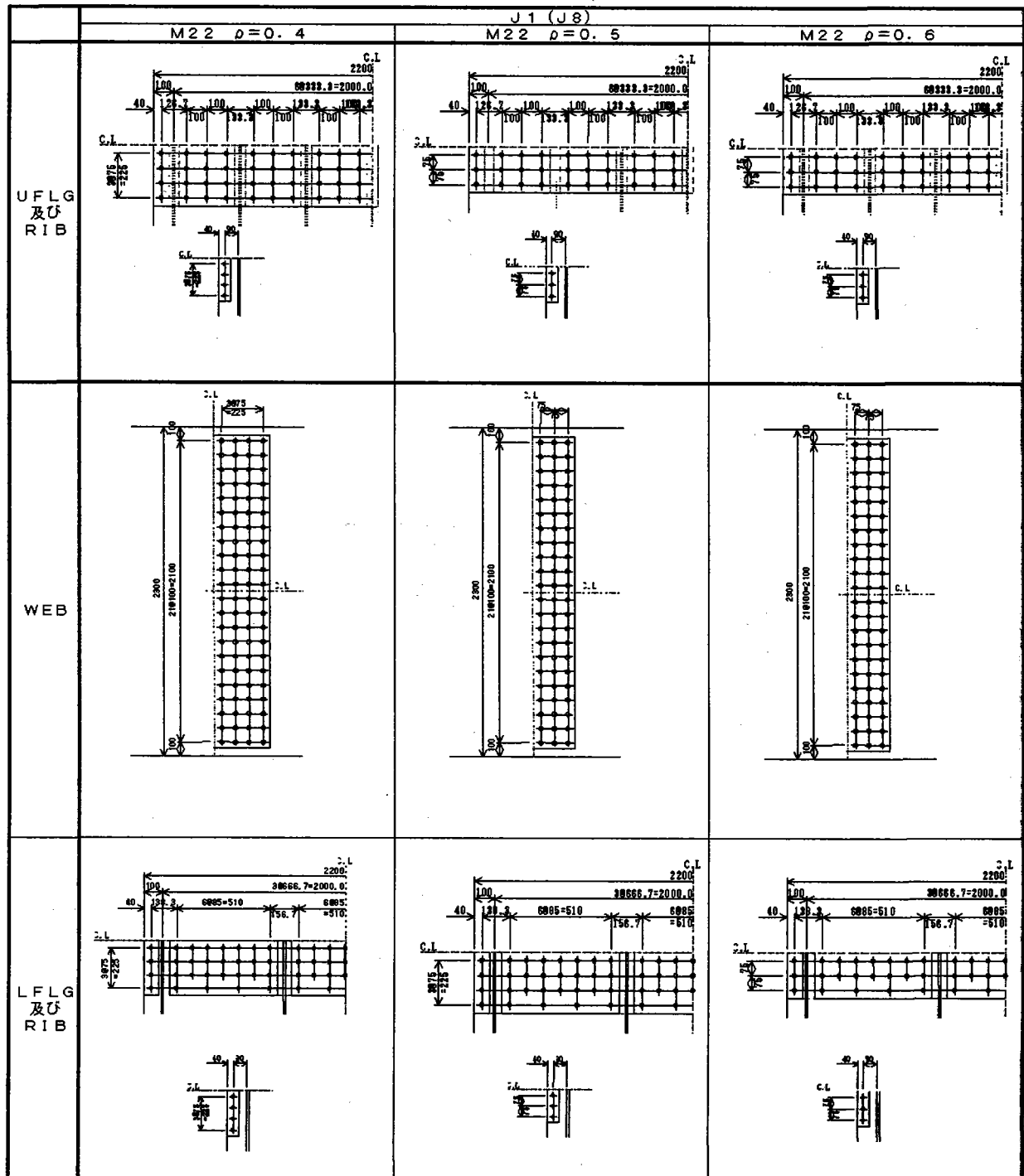


図-6.10 モデル II の J1 および J8 での連結版の構造詳細

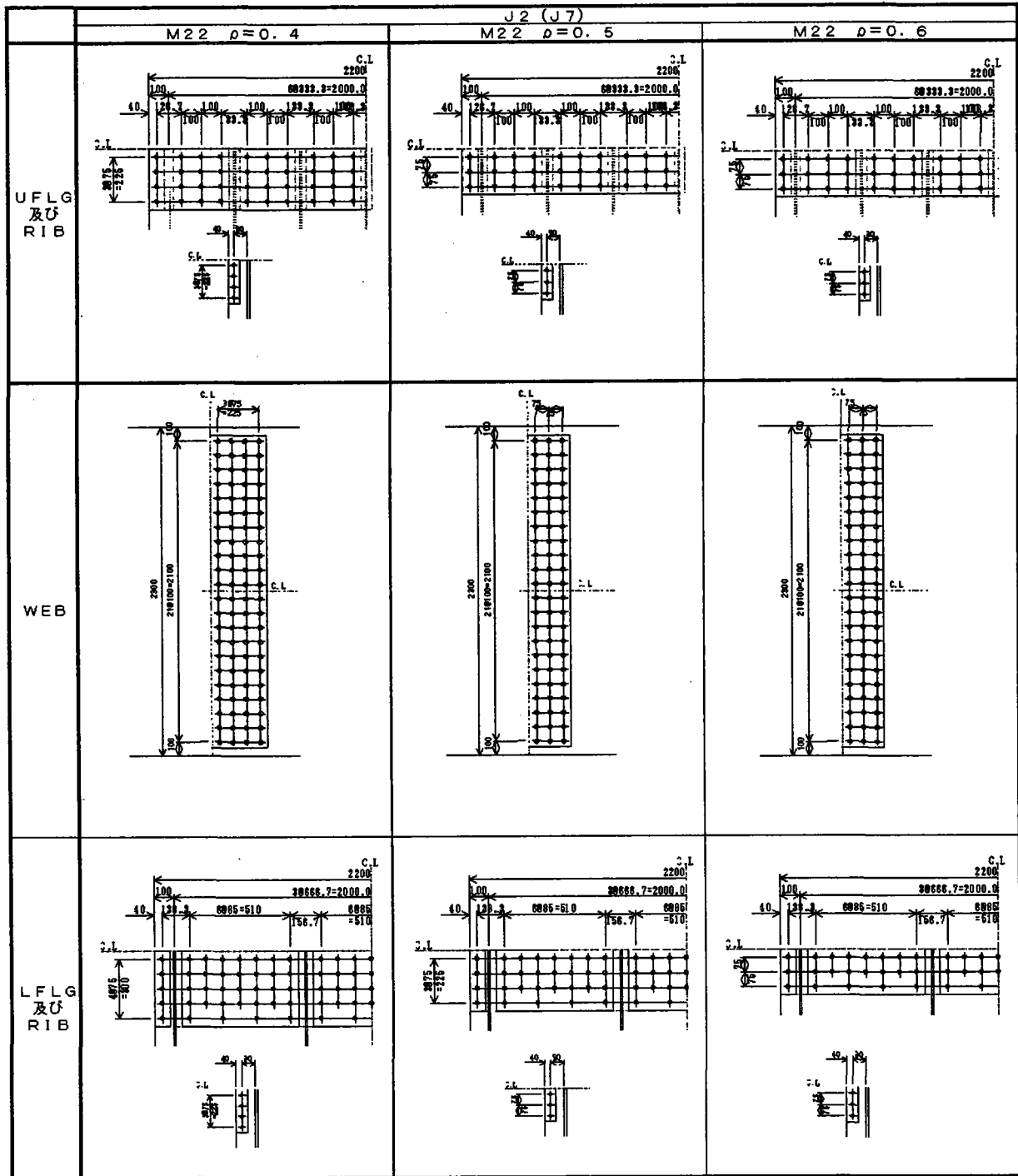


図-6.11 モデル II の J2 および J7 での連結版の構造詳細

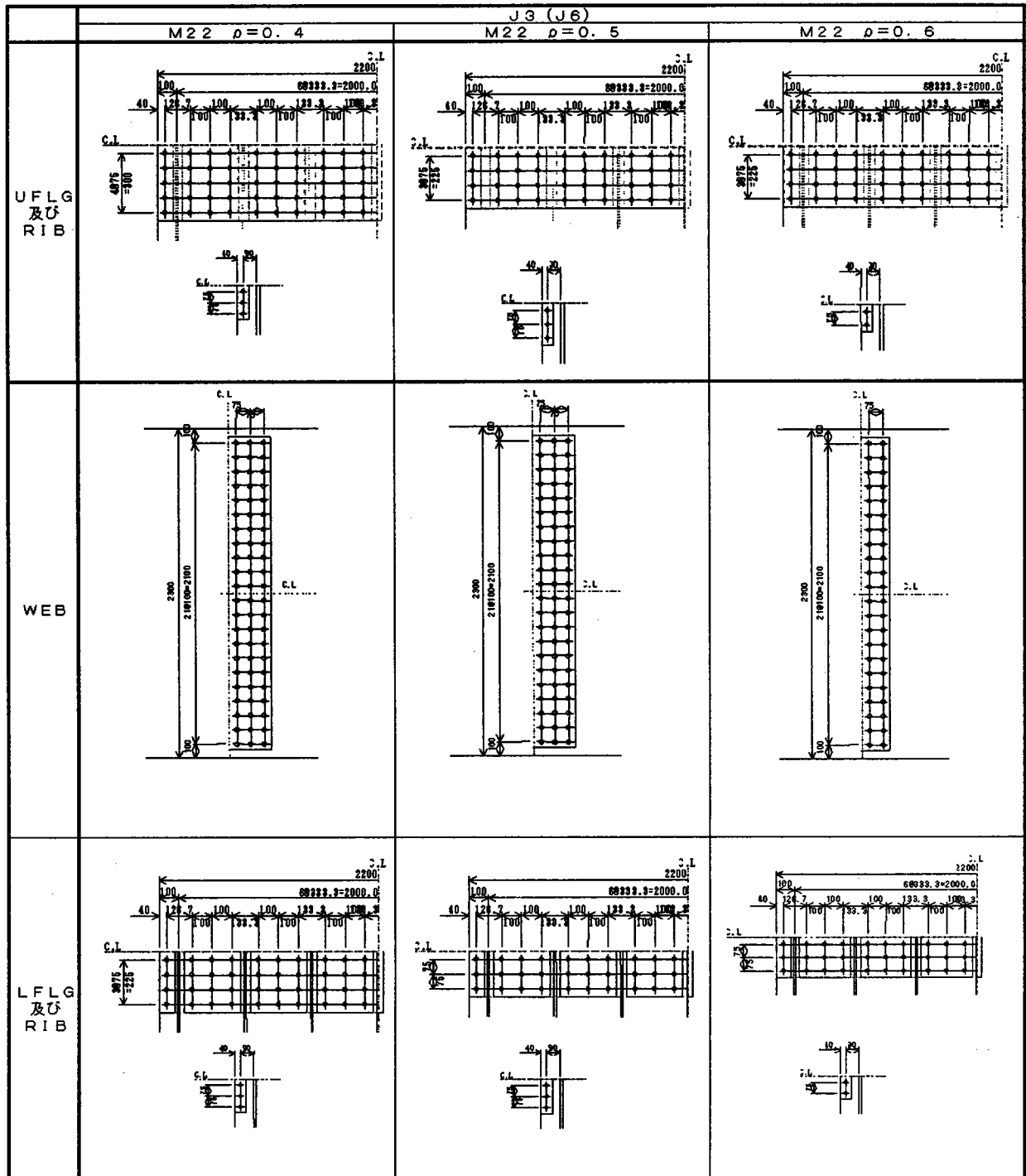


図-6.12 モデル II の J3 および J6 での連結版の構造詳細

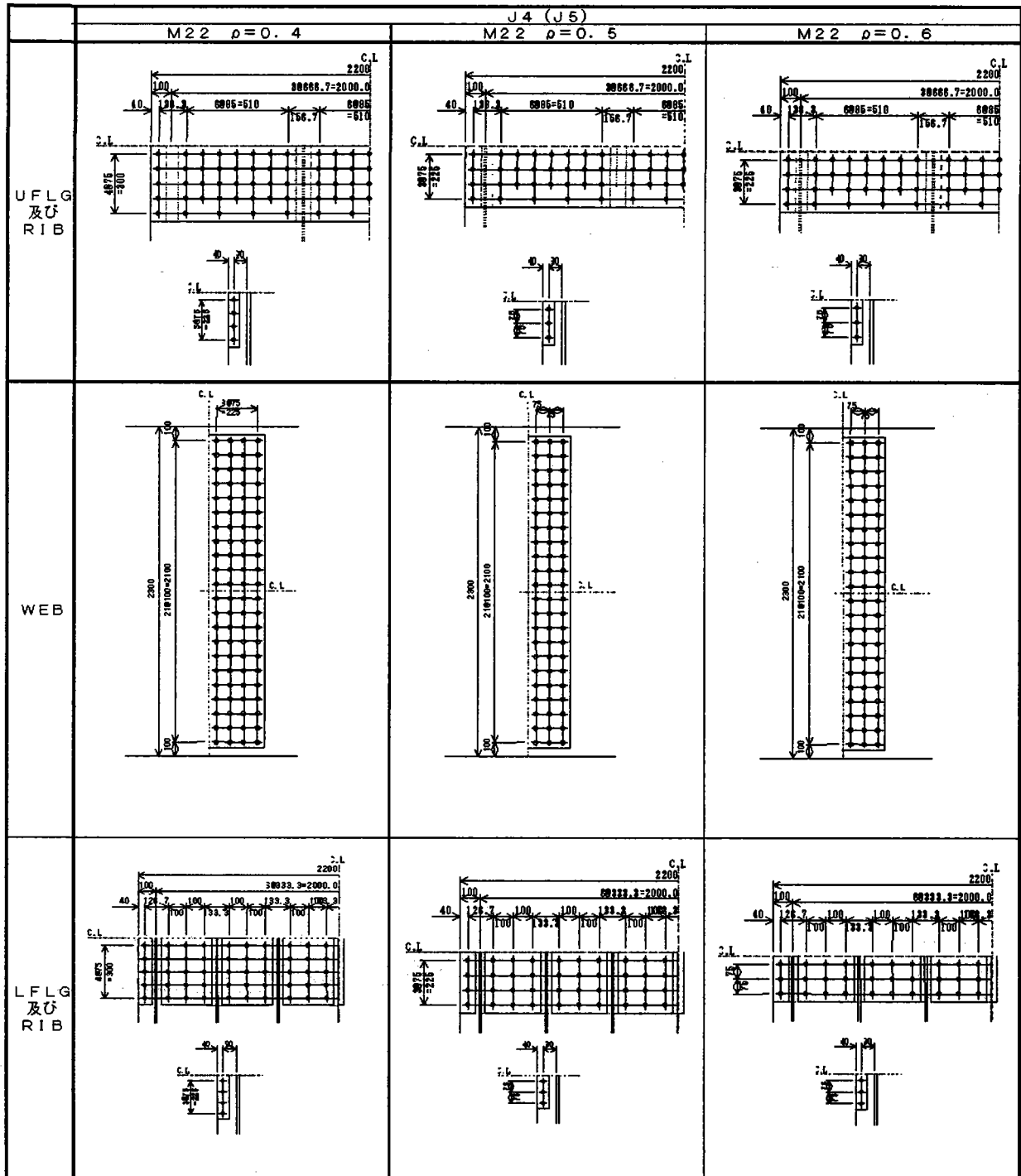


図-6.13 モデル II の J4 および J5 での連結版の構造詳細