

建物設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン

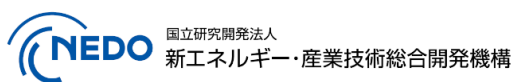
2025 年版

技術資料：

壁面設置型太陽光発電設備の風洞実験（非住宅）

この成果物は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP20015）「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発」の結果として得られたものです。

2025 年 4 月 11 日



更新・修正履歴

・ 2025/04/11 公開 : 2025 年版

壁面設置型太陽光発電設備の風洞実験（非住宅）

1. 概要

建物設置形態屋根設置型太陽光発電設備を対象とした縮尺模型を用いて風圧実験を行い、壁面に設置された太陽光発電設備の風力係数の評価を行った。本検討に用いた風洞実験模型は陸屋根設置型 PV 用の模型を用い、PV 設置面が壁面となるように模型を倒して実施したものである。なお、風洞実験手法等は、「実務者のための建築物風洞実験ガイドブック（日本建築センター, 2008）」および建築基準法（施行令 87 条、告示第 1454 および第 1458 号）ならびに日本建築学会の「建築物荷重指針・同解説（2015）」に準拠した。

2. 対象建物

本実験で対象とした陸屋根を有する建物の寸法を表 2-1 に示す。建物タイプは①～⑤の 5 種類である。壁面と PV の配置関係は図 2-1 に示す通りである。

表 2-1 陸屋根を有する建物概要

建物タイプ	幅 B(m)	奥行 D(m)	高さ H(m)	辺長比 D/B	アスペクト比 H/\sqrt{BD}
①	30	30	30	1.0	1.000
②	30	60	30	2.0	0.707
③	30	90	30	3.0	0.577
④	60	60	30	1.0	0.500
⑤	60	90	30	1.5	0.408



- ▶ モジュール表面の風圧測定位置
- ▶ モジュール裏面（壁面）の風圧測定位置

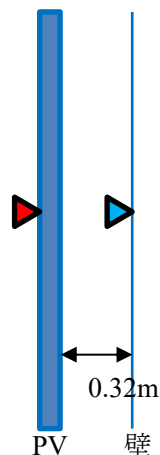


図 2-1 壁面と PV の配置関係

3. PV 配置計画

3.1 2023 年度実施内容

想定した PV モジュールの寸法は幅 2m、奥行き 1m とし、モジュールを奥行き方向に 6 枚、幅方向に 4 枚並べたアレイ (4m×12m) を 30m×30m の範囲に 10 配置することとした。この際、地面に近い領域は接触防止の観点によりアレイを配置していない。タイプ②はタイプ①の建物を 2 個、タイプ③は 3 個、タイプ④は 4 個、タイプ⑤は 6 個を組合せる。ただし、PV が設置されているのは 1 壁面のみである。外周および中央スペースの幅は 2m、アレイ間の隙間は 0.4m である (図 3-1 参照)。

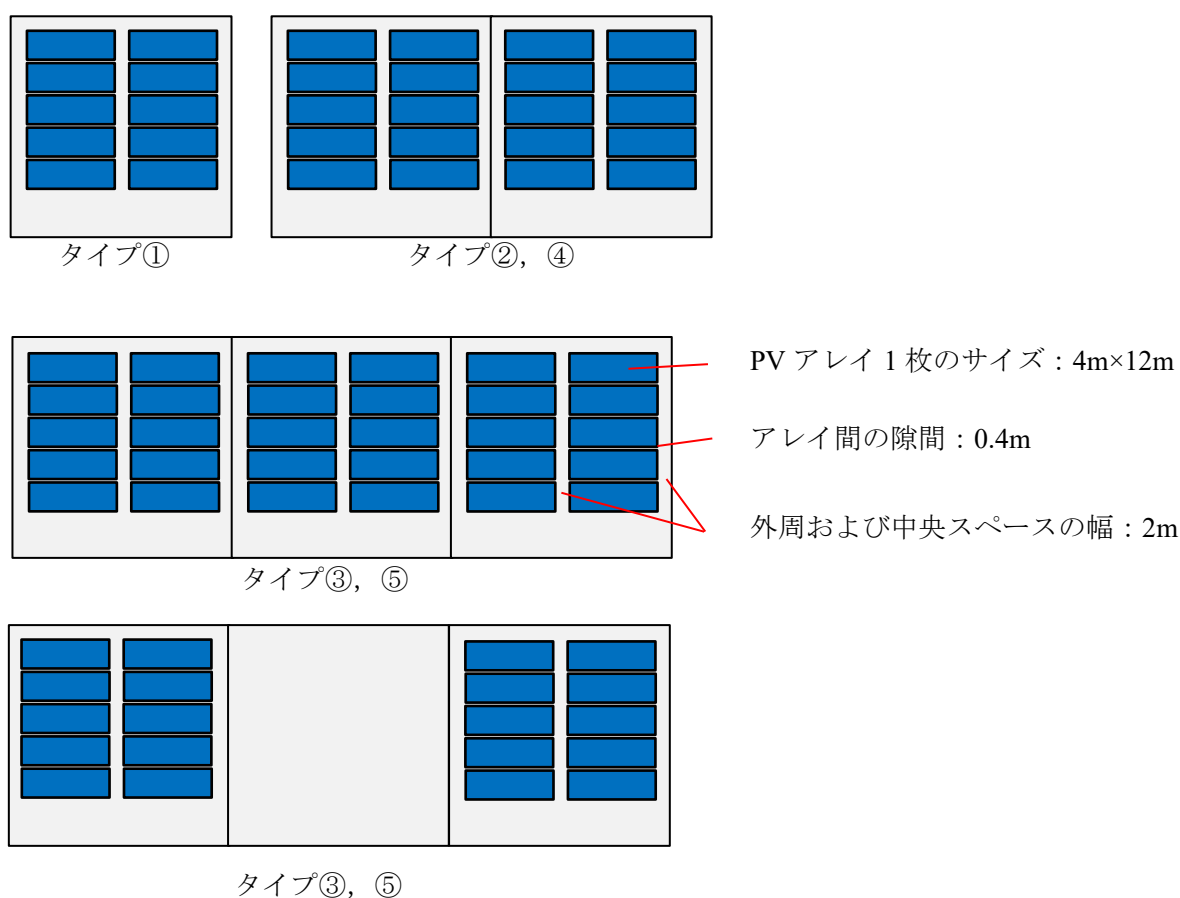


図 3-1 PV アレイの配置 (2023 年度, 離隔距離 2m)

3.2 2024 年度実施内容

2023 年度は、屋根面および壁面端部から PV 設置領域までの離隔距離（図 3-1 および図 3-2 において外周スペースと同義。図 3-2(c)参照。）が 2m のみを実施したが、2024 年度は、幅方向の PV アレイの枚数およびアレイ間の隙間（幅方向）を 2023 年度の実施ケースと合わせ、離隔距離が 0m、1m、3m の場合を想定し、図 3-2 に示すような配置とした。2023 年度の実施ケースと同様に、地面に近い領域は接触防止の観点によりアレイを配置していない。

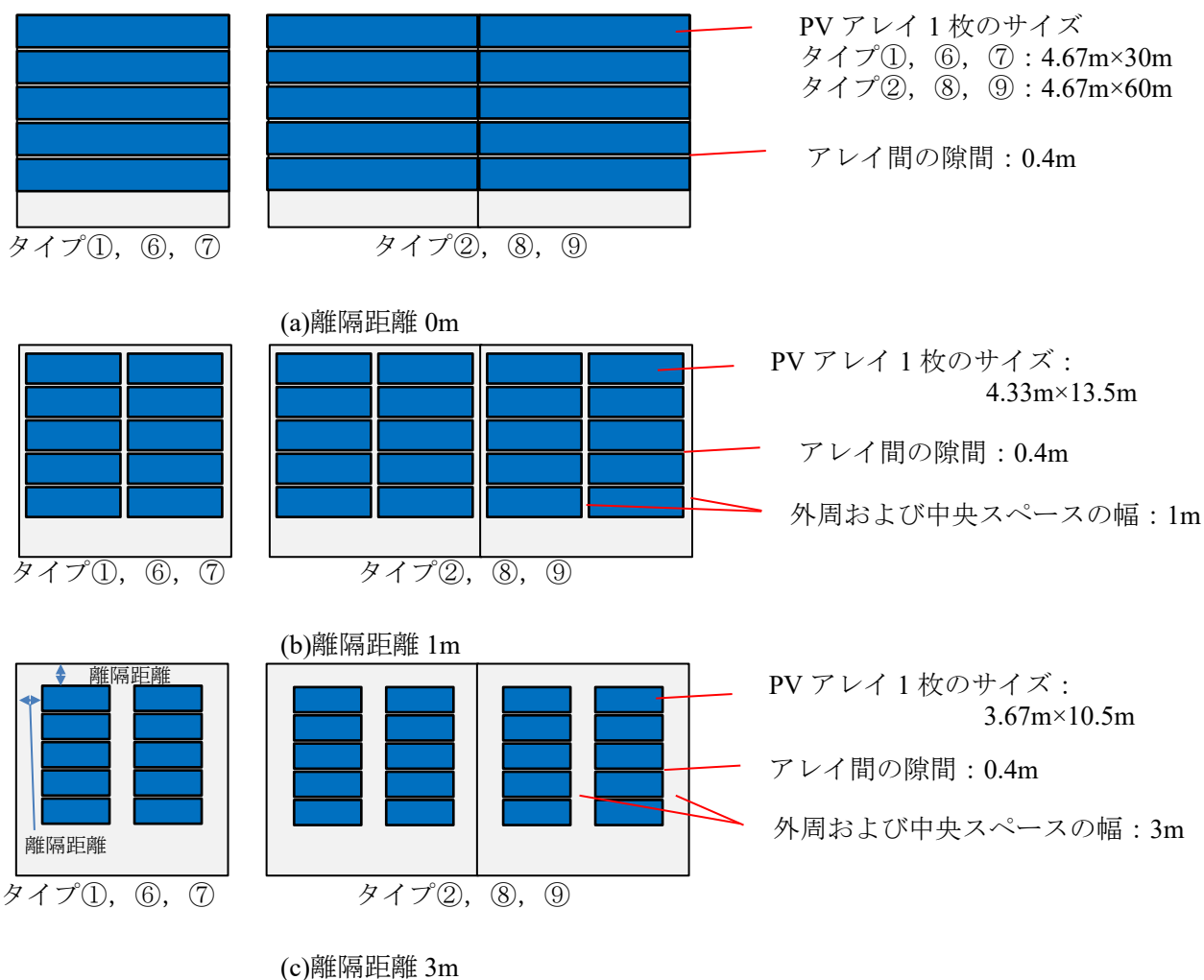


図 3-2 PV アレイの配置 (2024 年度, 離隔距離 0m, 1m, 3m)

4. 実験模型

4.1 実験模型概要と実験ケース

本実験では、実験内容、使用風洞、建物のサイズ等を考慮して、縮尺率 1/100 の実験模型とした。実験気流の地表面粗度区分については、物流施設や生産施設を想定していることから、2023 年度は地表面粗度区分Ⅱ（海辺など）とⅢ（市街地）の 2 種類実施した。しかし、実験で得られた PV モジュールのピーク風力係数を JIS C 8955:2017 に示されたガスト影響係数で除した等価風力係数として評価することで、地表面粗度区分の影響は小さいことが明らかとなった。そのため、本技術資料にて対象とする 2023 年度の実験ケースは表 4-1 に示す 14 ケース（実質 7 ケース）とし、2024 年度の実験ケースは表 4-2 に示す 6 ケースとする。なお、2023 年度分については、地表面粗度区分ⅡとⅢの結果（等価風力係数）を比較し、絶対値で大きい方の値を採用する。なお、模型は陸屋根設置と共通であるが、壁面設置の場合、一番低い位置に設置されているアレイは接触防止の観点から外している。

表 4-1 実験ケース一覧（2023 年度）

ケース名※	建物タイプ	離隔距離	風圧測定点数	地表面粗度区分	実験風向
l2l	①	2m	310	Ⅱ	0°～350°@10° 45°～315°@45° 全 40 風向
l3l	①		310	Ⅲ	
m2m	②		310	Ⅱ	
m3m	②		310	Ⅲ	
n2n	④		310	Ⅱ	
n3n	④		310	Ⅲ	
o2o	③		466	Ⅱ	
o3o	③		466	Ⅲ	
p2p	③		310	Ⅱ	
p3p	③		310	Ⅲ	
q2q	⑤		466	Ⅱ	
q3q	⑤		466	Ⅲ	
r2r	⑤		310	Ⅱ	
r3r	⑤		310	Ⅲ	

※ケース名の 2 文字目は地表面粗度区分を意味している。

表 4-2 実験ケース一覧 (2024 年度)

ケース名※	建物タイプ	離隔距離	風圧測定点数	地表面粗度区分	実験風向
s0w	①	0m	370	III	0°~350°@10° 45°~315°@45° 全 40 風向
r0w	②				
s1w	①	1m			
r1w	②				
s3w	①	3m			
r3w	②				

※ケース名の 1 文字目は建物の平面形状 (s: 正方形平面、r: 長方形平面)、2 文字目は離隔距離、3 文字目は壁面 (w) を意味している。

4.2 風圧模型

4.2.1 風圧測定点

離隔距離 2m の風圧測定点位置を図 4-1 に示す。アレイの風圧測定点は 1 アレイにつき、表面 15 点、裏面として代用する壁面に 15 点配置する。表面の測定点位置はモジュールの中央あるいはモジュールとモジュールの境界に配置し、壁面の測定点は表面の測定点位置と 3mm ずれている。なお、2023 年度に実施したケースでは、模型の対称性を考慮して、風圧実験模型は図 4-1 に示した測定点 1~370 までを測定できる模型と、測定点 1~187 までを測定できる模型を組合せて用いている。残りはダミー模型 (風圧測定点を配置していない模型) とした。2024 年度に実施した離隔距離 0m、1m、3m の壁面設置型の風圧測定点位置を図 4-2、図 4-3、図 4-4 に示す。図 4-5 には、壁面設置型の風圧模型とダミー模型の配置および風向 0° との関係を示す。ただし、前述したように、壁面設置の場合には、測定点 158~187 および 341~370 が配置されているアレイを外して壁面として測定を行っている (写真 4-1 参照)。



写真 4-1 壁面設置型 PV 模型

測定点 93 は、陸屋根設置型 PV 用として用いる際に、壁面の停留点付近に設けた参考用の測定点であり、壁面設置型 PV では参考としていない。

- 壁面の測定点位置
- PV 表面の測定点位置

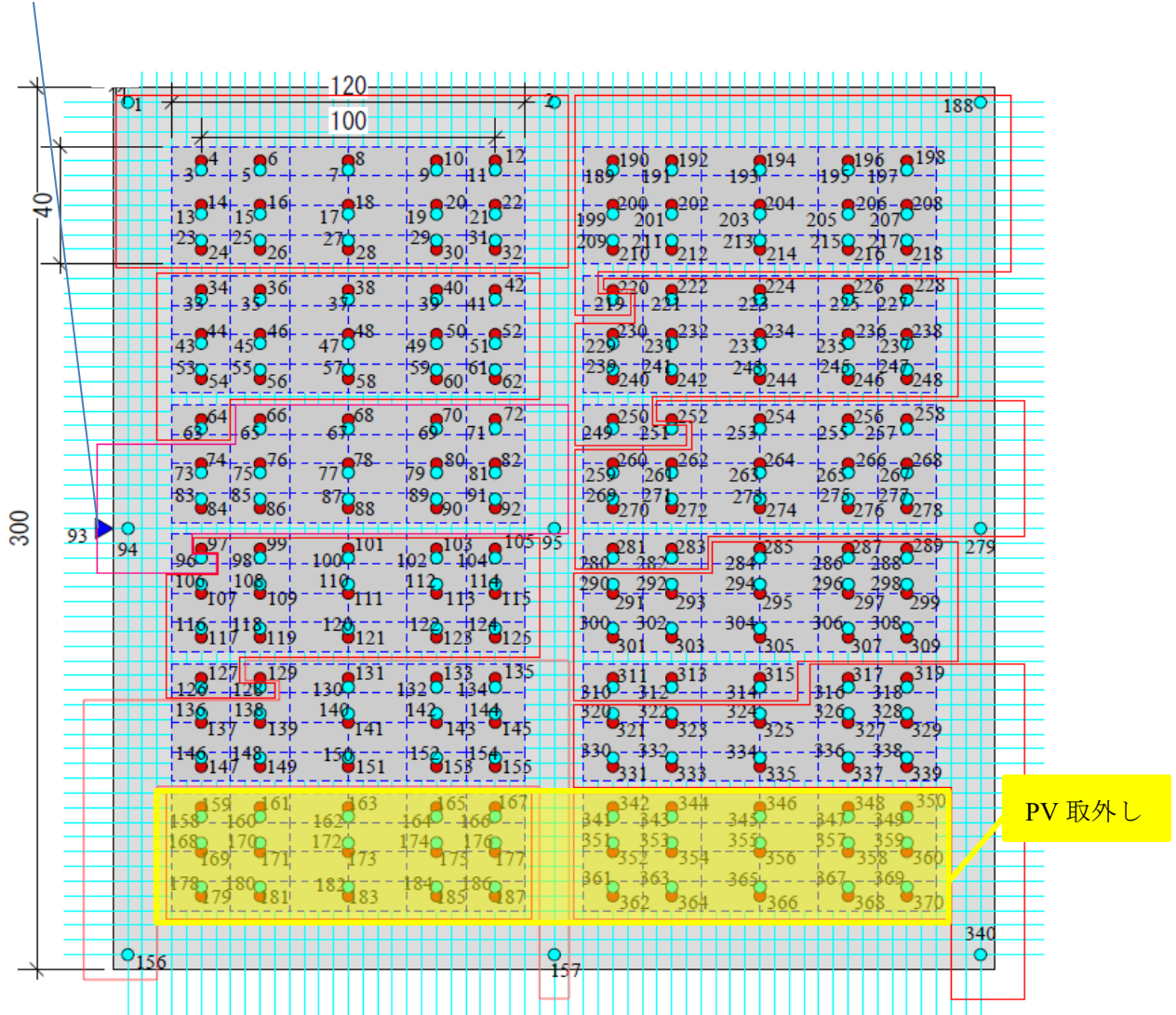


図 4-1 風圧測定点位置 (離隔距離 2m)

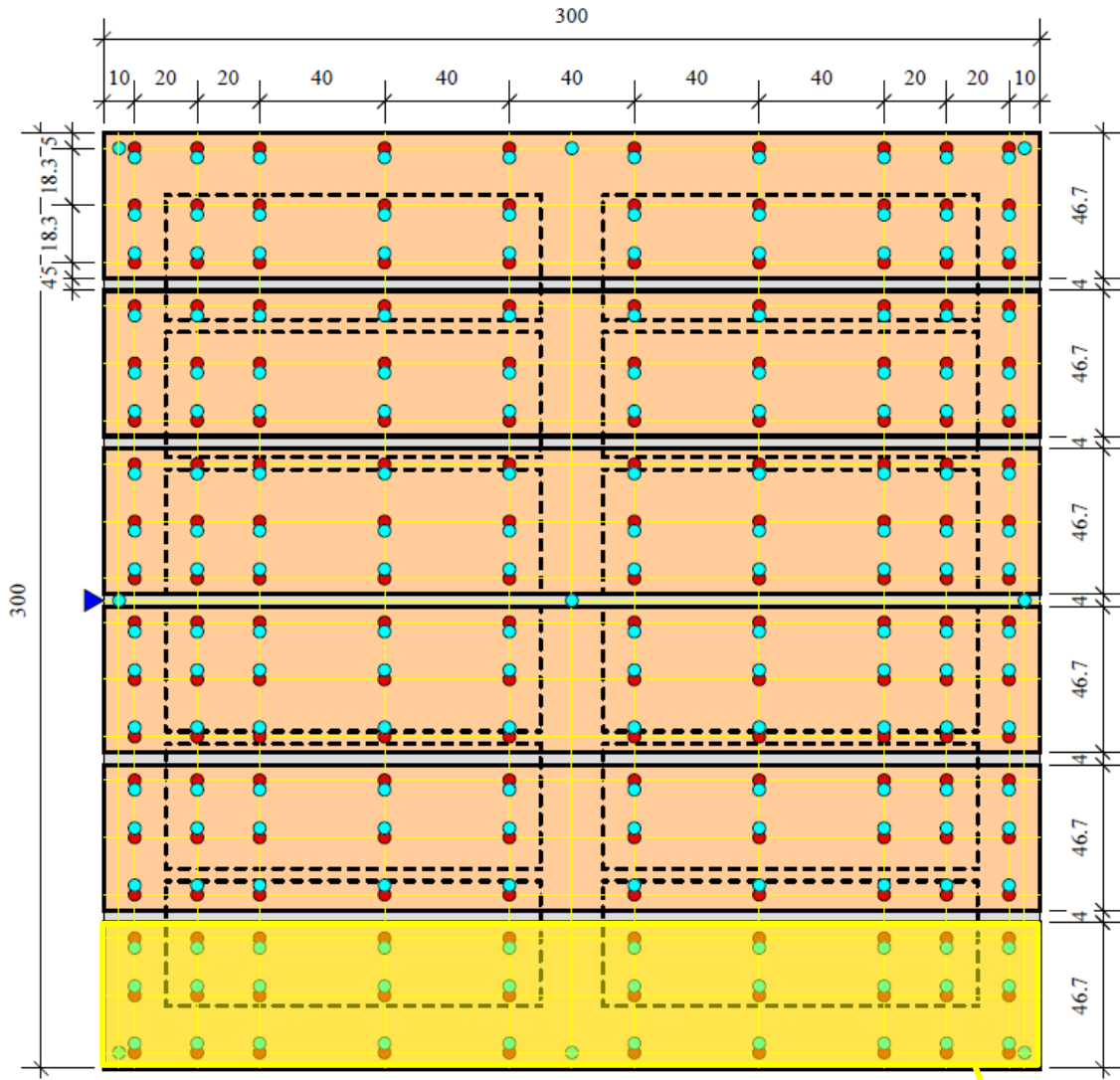


图 4-2 風圧測定点位置 (離隔距離 0m)

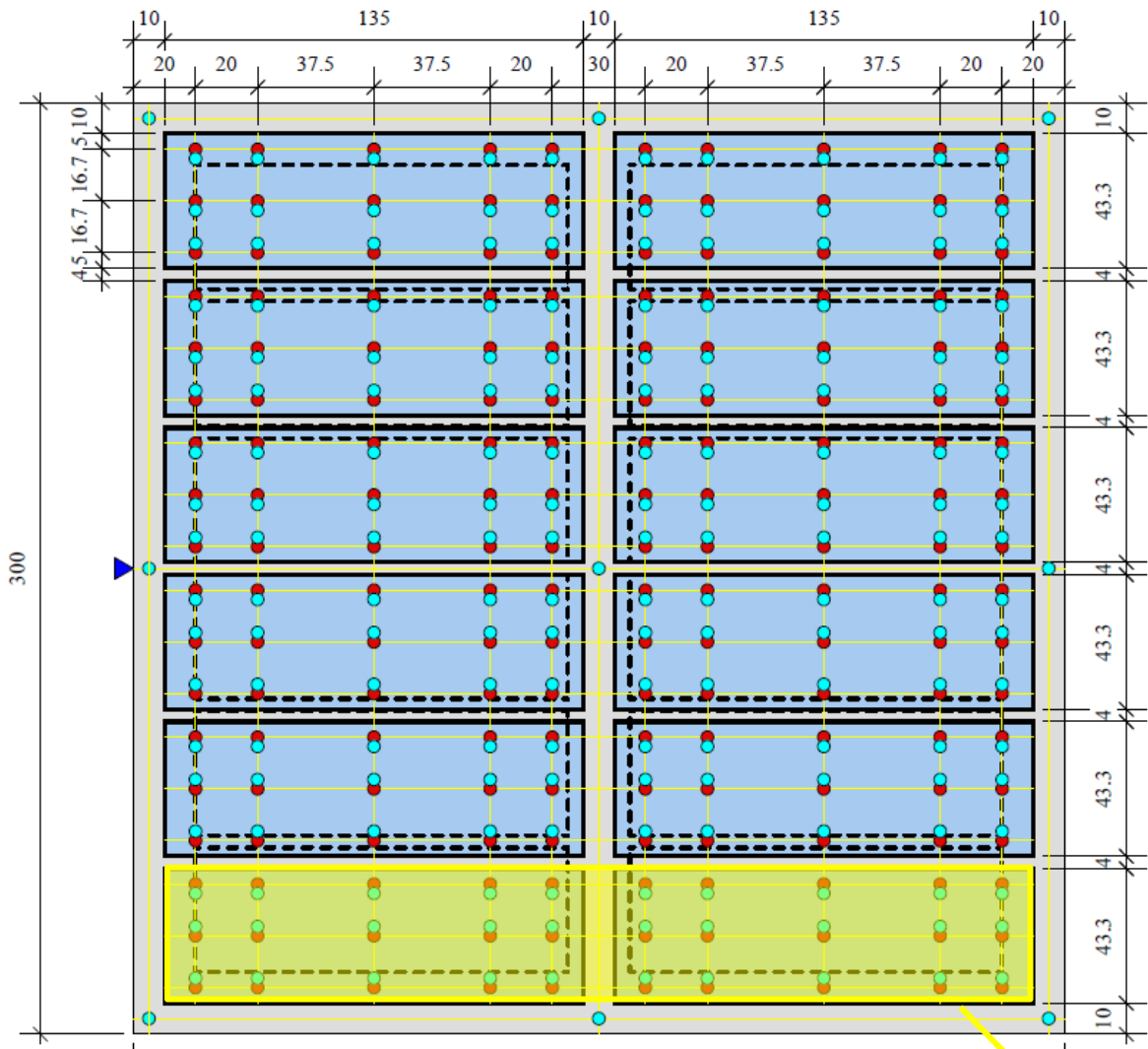


図 4-3 風圧測定点位置 (離隔距離 1m)

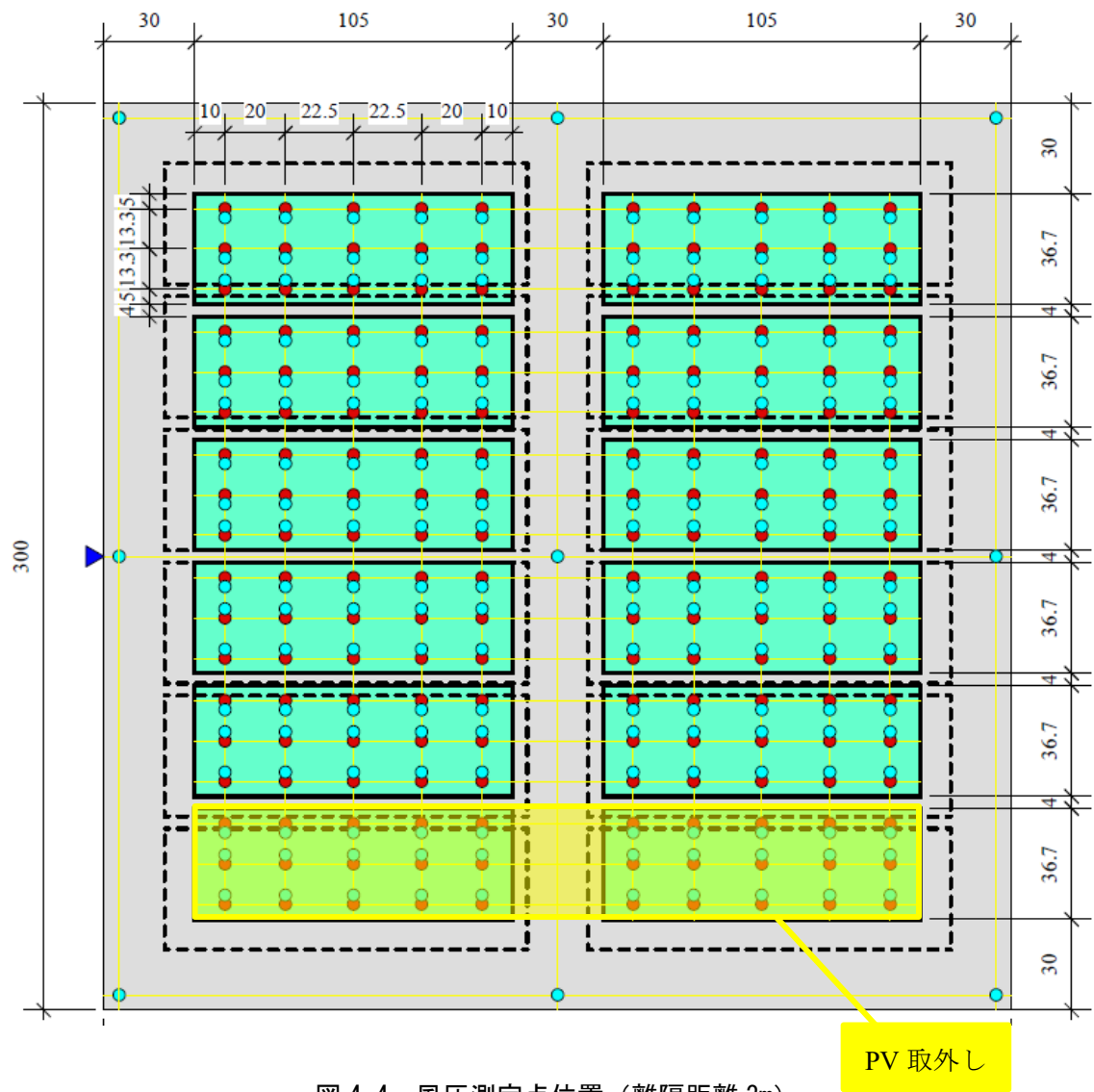


図 4-4 風圧測定点位置 (離隔距離 3m)

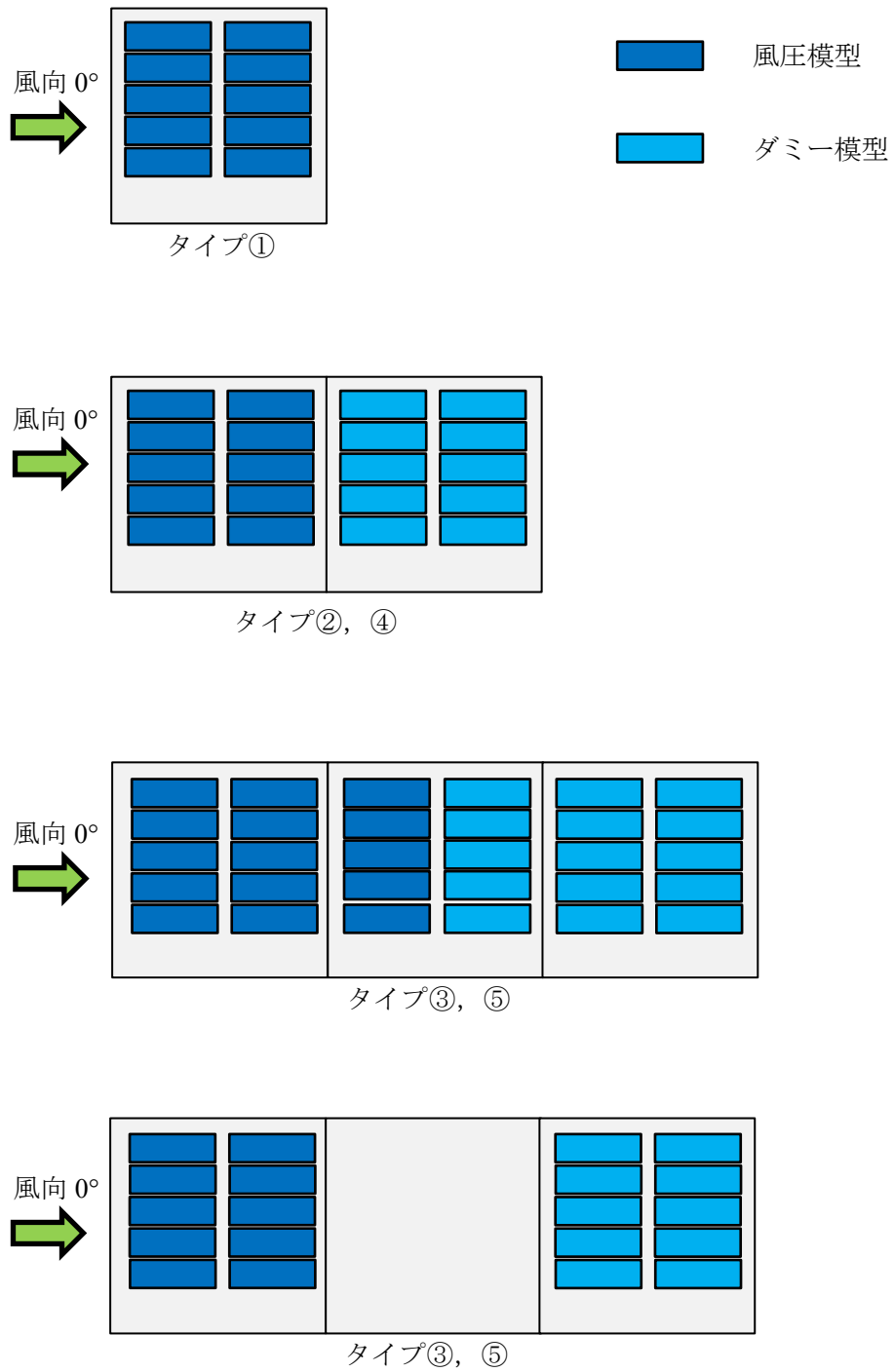
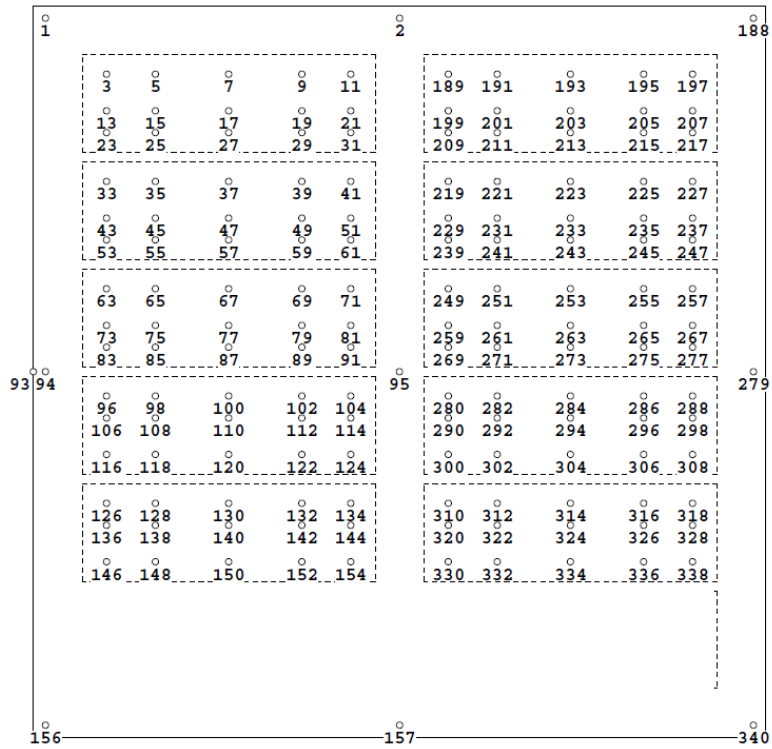


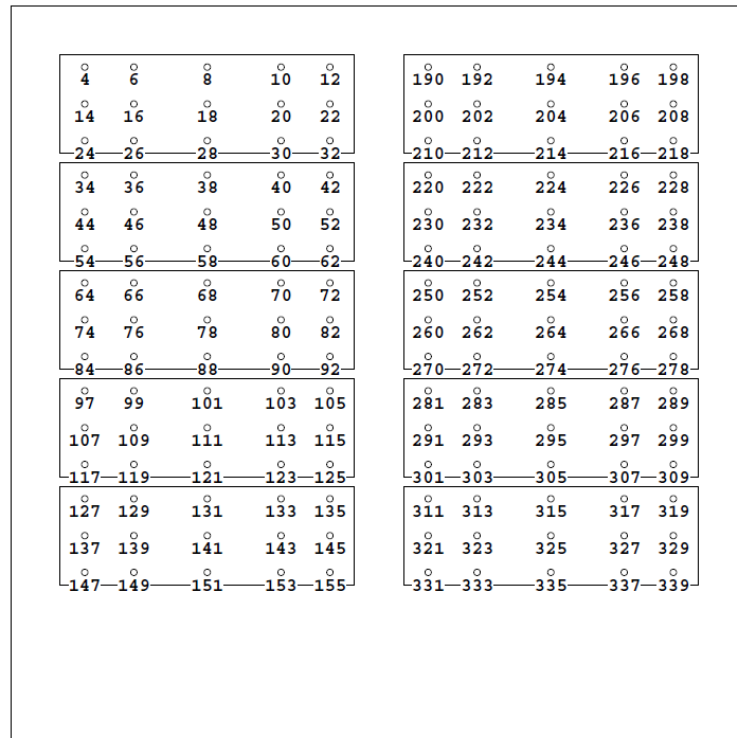
図 4-5 風圧模型とダミー模型の配置と風向 0° との関係

4.2.2 風圧算定点

個別の外圧測定 ch で得られた風圧データを建物頂部の高さにおける速度圧で基準化し、個別の風圧係数を算定した。モジュールの風力係数は、モジュールの表面で測定された風圧係数から壁面で測定された風圧係数を時刻歴上で差し引いて求めた。風圧係数は面に対して押す方向が正、モジュールの風力係数は外から建物側への向きが正である。図 4-6(1)には 2023 年度実施の離隔距離を 2m としたケース l、m、n、p、r の測定点番号を示し、図 4-6(2)には風力係数計算点番号を示す。同様に、図 4-7(1)と図 4-7(2)には 2023 年度実施の離隔距離を 2m としたケース o、q の測定点番号と風力係数計算点番号を、図 4-8(1)と図 4-8(2)には 2024 年度実施の離隔距離を 0m としたケース s0w、r0w の測定点番号と風力係数計算点番号を、図 4-9(1)と図 4-9(2)には 2024 年度実施の離隔距離を 1m としたケース s1w、r1w の測定点番号と風力係数計算点番号を、図 4-10(1)と図 4-10(2)には 2024 年度実施の離隔距離を 3m としたケース s3w、r3w の測定点番号と風力係数計算点番号を示す。



(a) 壁面



(b) モジュール表面

図 4-6(1) 測定点番号 (壁面設置ケース l、m、n、p、r、離隔距離 2m)

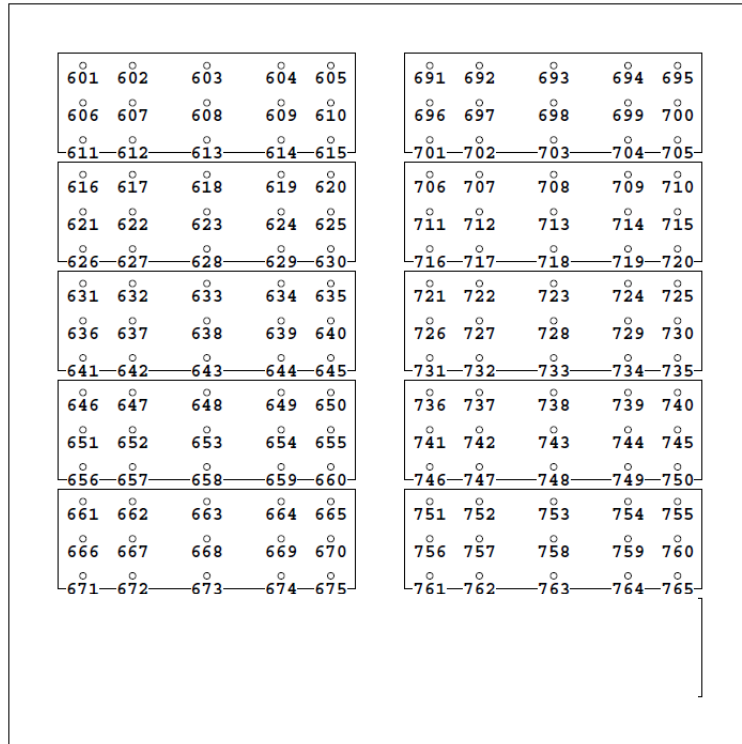
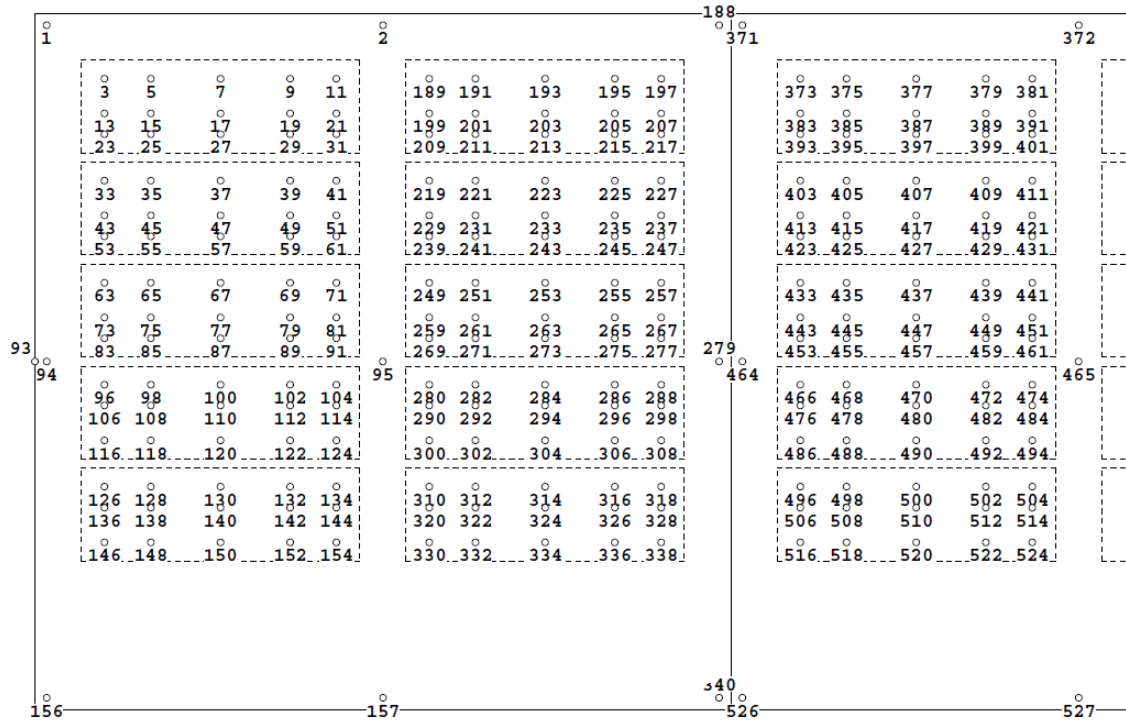
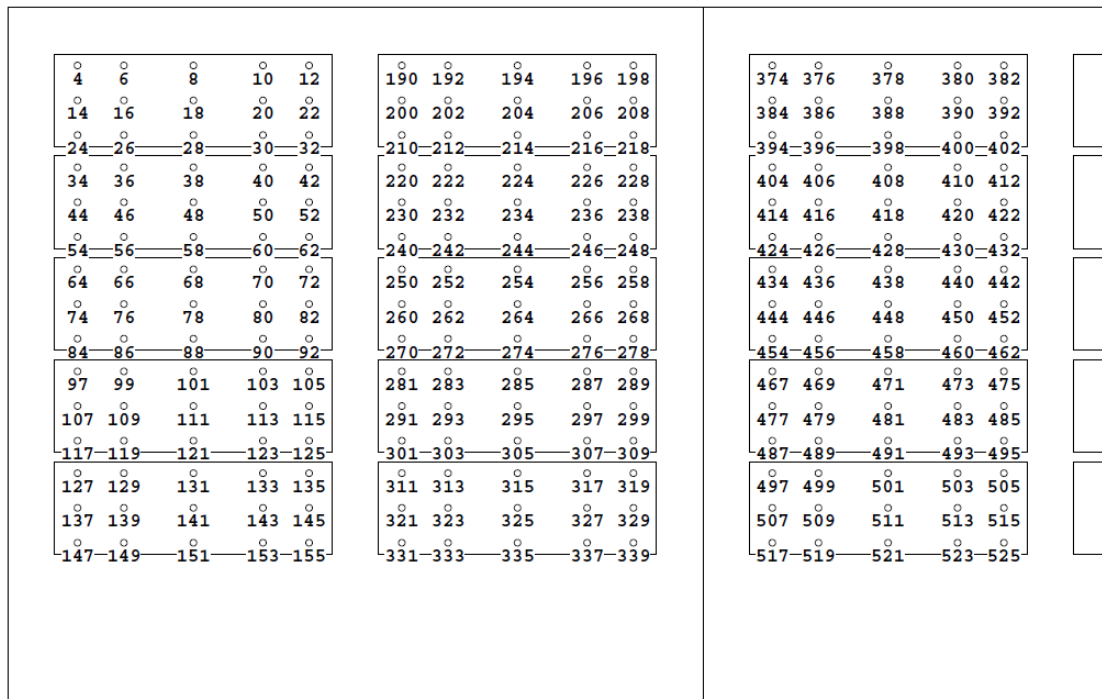


図 4-6(2) 風力係数計算点番号 (壁面設置ケース l、m、n、p、r、離隔距離 2m)



(a) 壁面



(b) モジュール表面

図 4-7(1) 測定点番号 (壁面設置ケース o、q、離隔距離 2m)

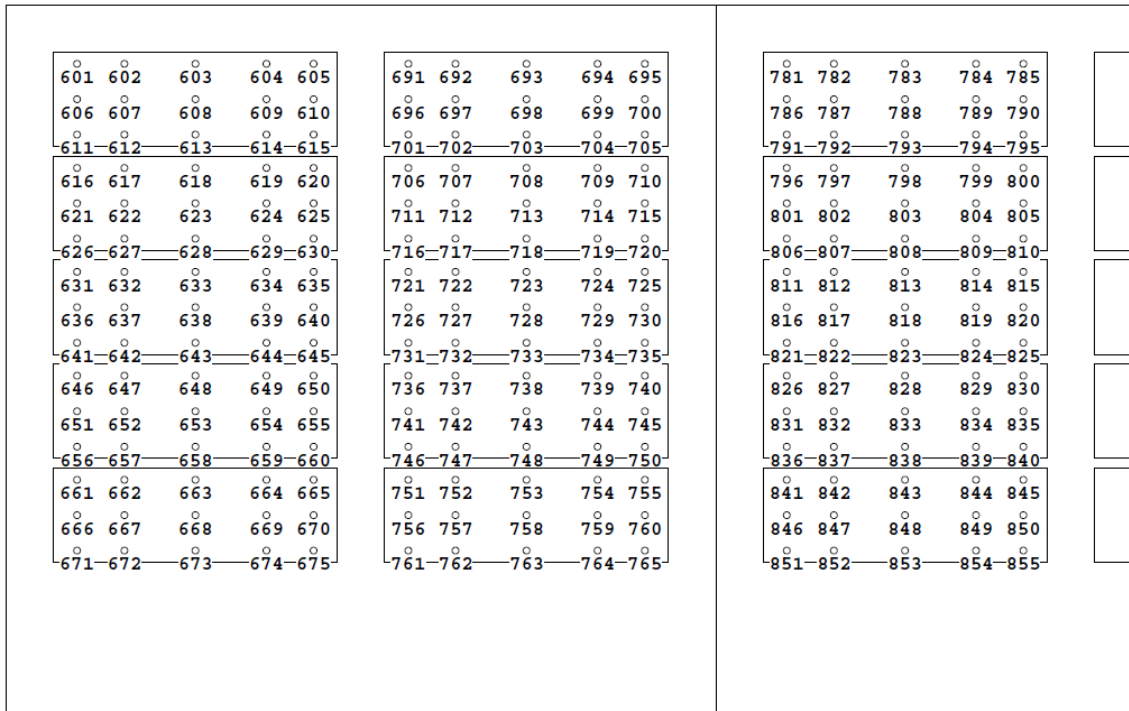


図 4-7(2) 風力係数計算点番号 (壁面設置ケース o、q、離隔距離 2m)

1	3	5	7	9	11	2	189	191	193	195	197	188
13	15	17	19	21	23	199	201	203	205	207		
23	25	27	29	31		209	211	213	215	217		
33	35	37	39	41		219	221	223	225	227		
43	45	47	49	51		229	231	233	235	237		
53	55	57	59	61		239	241	243	245	247		
63	65	67	69	71		249	251	253	255	257		
73	75	77	79	81		259	261	263	265	267		
83	85	87	89	91		269	271	273	275	277		
94					95						279	
93	96	98	100	102	104	280	282	284	286	288		
	106	108	110	112	114	290	292	294	296	298		
	116	118	120	122	124	300	302	304	306	308		
	126	128	130	132	134	310	312	314	316	318		
	136	138	140	142	144	320	322	324	326	328		
	146	148	150	152	154	330	332	334	336	338		
											9	
											9	
											9	
156						157						340

(a) 壁面

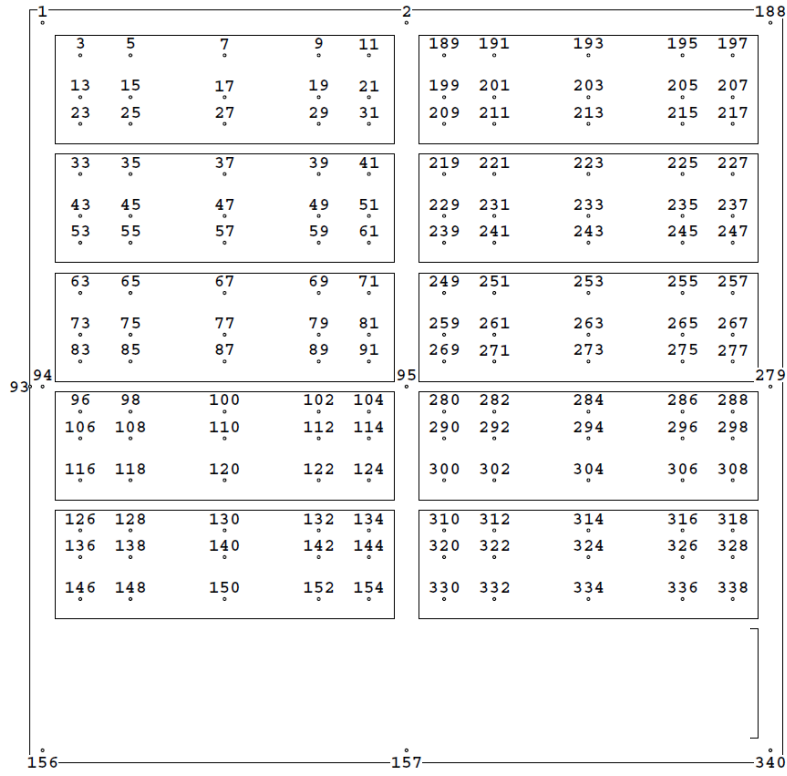
4	6	8	10	12	190	192	194	196	198
14	16	18	20	22	200	202	204	206	208
24	26	28	30	32	210	212	214	216	218
34	36	38	40	42	220	222	224	226	228
44	46	48	50	52	230	232	234	236	238
54	56	58	60	62	240	242	244	246	248
64	66	68	70	72	250	252	254	256	258
74	76	78	80	82	260	262	264	266	268
84	86	88	90	92	270	272	274	276	278
97	99	101	103	105	281	283	285	287	289
107	109	111	113	115	291	293	295	297	299
117	119	121	123	125	301	303	305	307	309
127	129	131	133	135	311	313	315	317	319
137	139	141	143	145	321	323	325	327	329
147	149	151	153	155	331	333	335	337	339

(b) モジュール表面

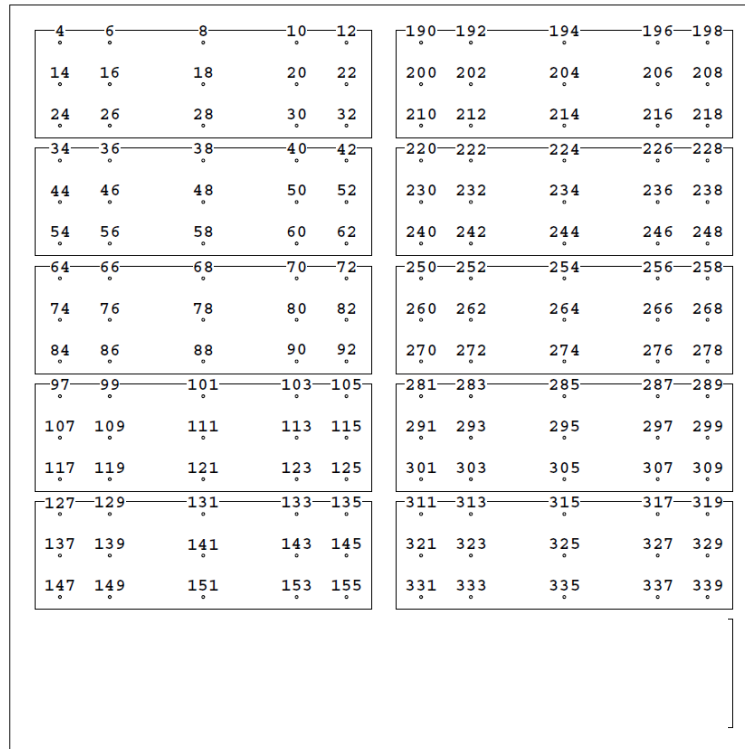
図 4-8(1) 測定点番号 (壁面設置ケース s0w、r0w、離隔距離 0m)

601	602	603	604	605	691	692	693	694	695
606	607	608	609	610	696	697	698	699	700
611	612	613	614	615	701	702	703	704	705
616	617	618	619	620	706	707	708	709	710
621	622	623	624	625	711	712	713	714	715
626	627	628	629	630	716	717	718	719	720
631	632	633	634	635	721	722	723	724	725
636	637	638	639	640	726	727	728	729	730
641	642	643	644	645	731	732	733	734	735
646	647	648	649	650	736	737	738	739	740
651	652	653	654	655	741	742	743	744	745
656	657	658	659	660	746	747	748	749	750
661	662	663	664	665	751	752	753	754	755
666	667	668	669	670	756	757	758	759	760
671	672	673	674	675	761	762	763	764	765
									0
									5
									0

図 4-8(2) 風力係数計算点番号 (壁面設置ケース s0w、r0w、離隔距離 0m)



(a) 壁面



(b) モジュール表面

図 4-9(1) 測定点番号 (壁面設置ケース s1w、r1w、離隔距離 1m)

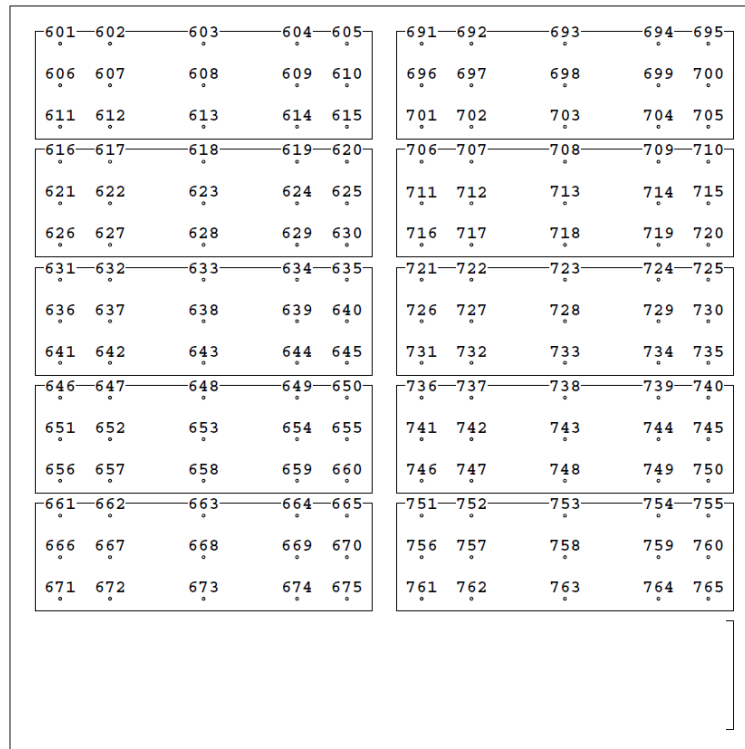
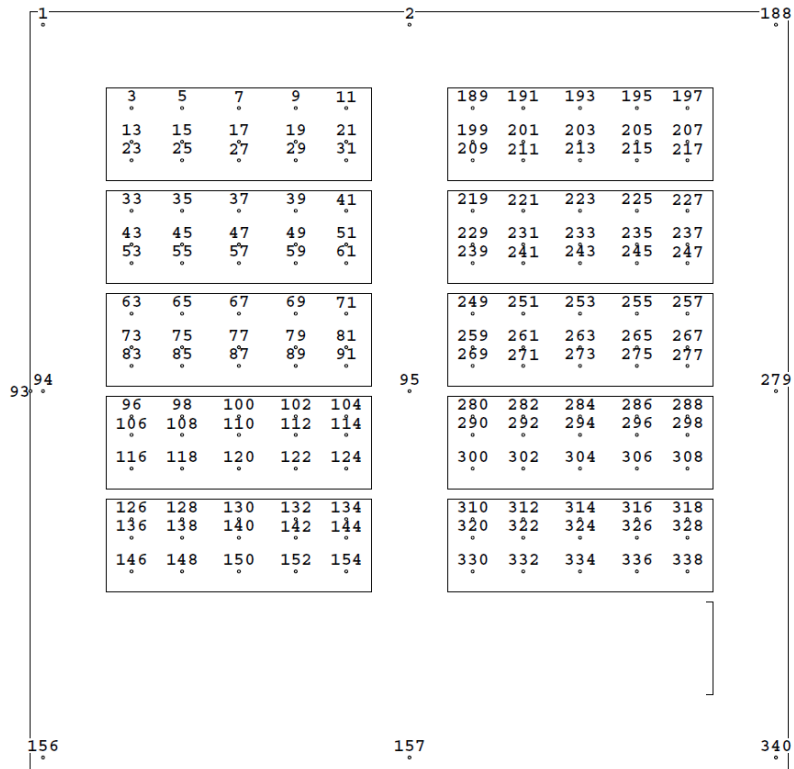
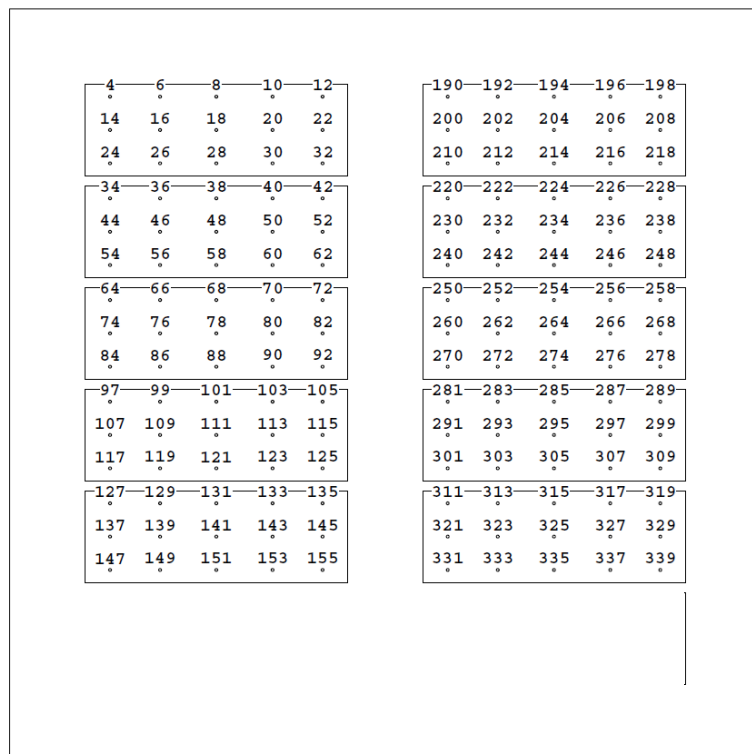


図 4-9(2) 風力係数計算点番号 (壁面設置ケース s1w、r1w、離隔距離 1m)



(a) 壁面



(b) モジュール表面

図 4-10(1) 測定点番号 (壁面設置ケース s3w、r3w、離隔距離 3m)

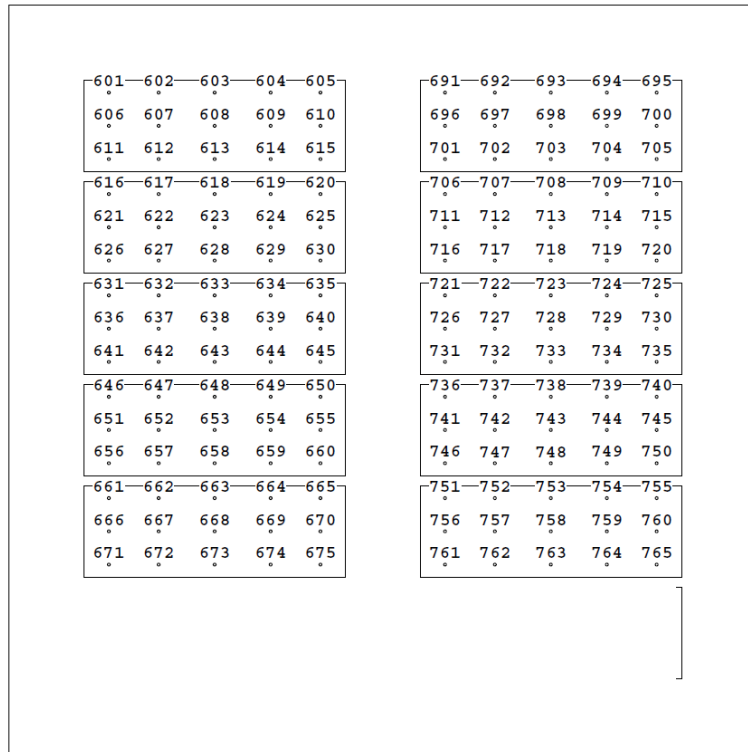


図 4-10(2) 風力係数計算点番号 (壁面設置ケース s3w、r3w、離隔距離 3m)

5. 使用風洞および実験気流

5.1 使用風洞

本実験に用いた風洞は大成建設(株)技術センターの風洞である。風洞の仕様および機能を表 5-1 に示す。

表 5-1 使用風洞の仕様・機能

形式	室内回流式エッフェル型風洞
測定部寸法	幅：3.2m、高さ：2.0m、長さ：23.8m
ターンテーブル	直径：3.0m
最大風速	23m/s
送風機	軸流送風機 6 台

5.2 風洞気流

一般に平均風速の鉛直分布は次式で表わされる。

$$U_z = U_r \left(\frac{Z}{Z_r} \right)^\alpha \dots\dots\dots(5.1)$$

ただし、 U_z :高さ $Z(m)$ における平均風速(m/s)

U_r :基準高さ $Z_r(m)$ における平均風速(m/s)

α :風速のべき指数分布のべき指数

べき指数 α が平均風速の分布形状を決定づける定数であり、建設省告示第 1454 号（平成 12 年 5 月 31 日）及び日本建築学会の建築物荷重指針・同解説（2015）（以下荷重指針と呼ぶ）には地表面粗度の状態に応じて定められている(表 5-2～表 5-3 参照)。

本実験では建設省告示に従い、建設地の地表面粗度区分をⅡ（2023 年度実施分のみ）およびⅢとし、

$\alpha=0.15$ （粗度区分Ⅱ）および $\alpha=0.20$ （粗度区分Ⅲ）

を目標として風洞気流を作成した。

建設省告示には風の乱れに関する規定が定められていないため、風速の乱れの度合いを表す指標である乱れの強さ、渦の平均的な大きさを表す指標である乱れのスケールについては、荷重指針に準拠した気流を風洞内に作成した。

実験気流の平均風速と乱れの強さの鉛直分布を図 5-1 に示す。乱れの強さは、高さ 30m 相当で 16.3% (粗度区分Ⅱ) および 19.7% (粗度区分Ⅲ)、であった。平均風速の鉛直分布指数は、粗度区分Ⅱの場合風洞床上高さ 140cm 以下、粗度区分Ⅲの場合 80cm 以下において目標値に近似している。また風速のスペクトルは、図 5-2 に示すように荷重指針の乱れのスケール L_u を 1/100 (本実験の模型縮尺率) としたパワースペクトルとよく対応している。なお、乱れのスケールは 30m 高さ相当で 98.7cm (粗度区分Ⅱ) および 95.6cm (粗度区分Ⅲ) であった。

実験風速は実験内容等を勘案して、高さ 30m 相当で 11.0m/s (粗度区分Ⅱ) および 9.5m/s (粗度区分Ⅲ) とした。

表 5-2 地表面粗度区分 (平成 12 年 5 月 31 日建設省告示第 1454 号)

地表面粗度区分		α
I	都市計画区域外にあって、極めて平坦で障害物がないものとして特定行政庁が規則で定める区域。	0.10
II	都市計画区域外にあって地表面粗度区分Iの区域以外の区域。(建築物の高さが 13m 以下の場合を除く。) 又は都市計画区域内にあって地表面粗度区分IVの区域以外の区域のうち、海岸線又は湖岸線 (対岸までの距離が 1,500m 以上のものに限る。以下同じ。) までの距離が 500m 以内の地域 (ただし、建物高さが 13m 以下である場合又は当該海岸線若しくは湖岸線からの距離が 200m を超え、かつ、建築物の高さが 31m 以下である場合を除く。)	0.15
III	地表面粗度区分I、II又はIV以外の区域。	0.20
IV	都市計画区域内にあって、都市化が極めて著しいものとして特定行政庁が規則で定める区域。	0.27

表 5-3 地表面粗度区分 (荷重指針, 2015 年)

地表面粗度区分	建設地および風上側地域の地表面の状況	$Z_b(m)$	$Z_G(m)$	α	
滑 ↑	I	海面または湖面のような、ほとんど障害物のない地域	3	250	0.10
	II	田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある地域、樹木・低層建築物などが散在している平坦地	5	350	0.15
↓ 粗	III	樹木・低層建築物が多数存在する地域、あるいは中層建築物(4~9 階)が散在している地域	10	450	0.20
	IV	中層建築物(4~9 階)が主となる市街地	20	550	0.27
	V	高層建築物(10 階以上)が密集する市街地	30	650	0.35

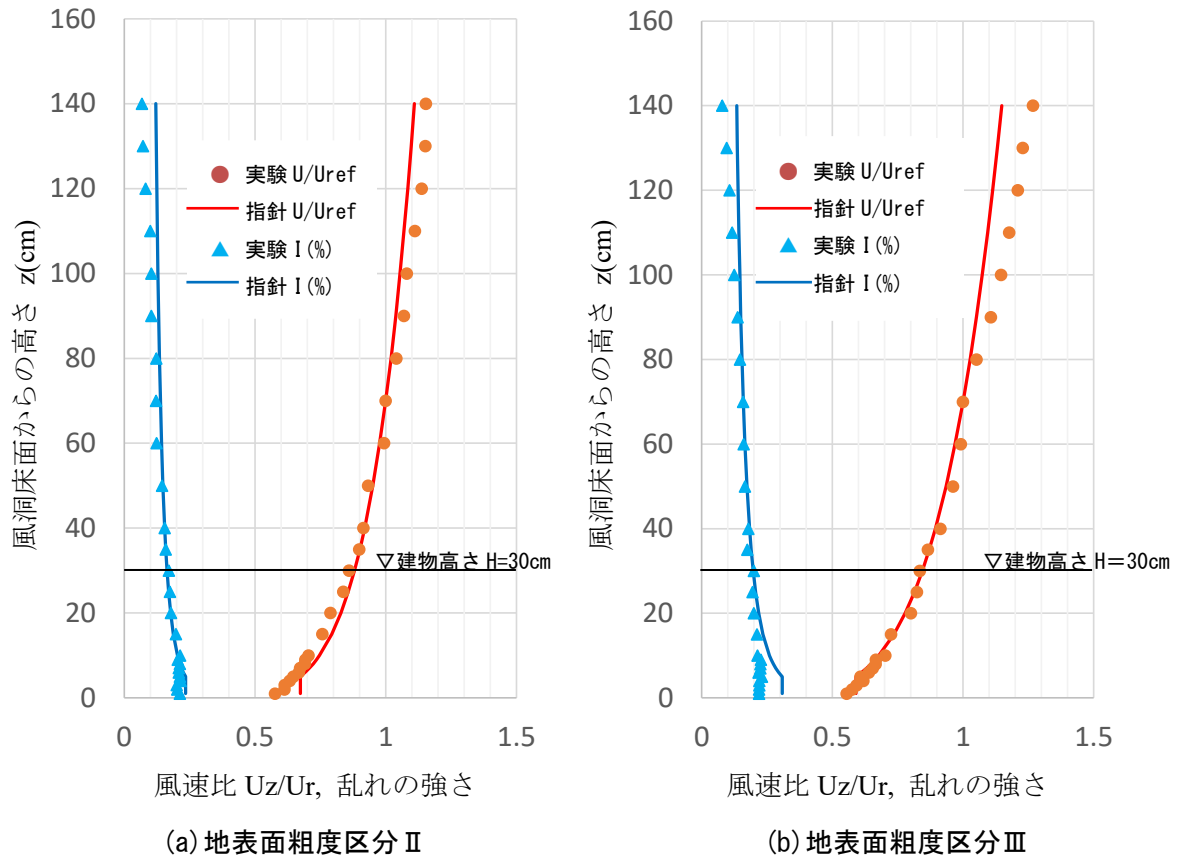


図 5-1 風洞気流の鉛直分布

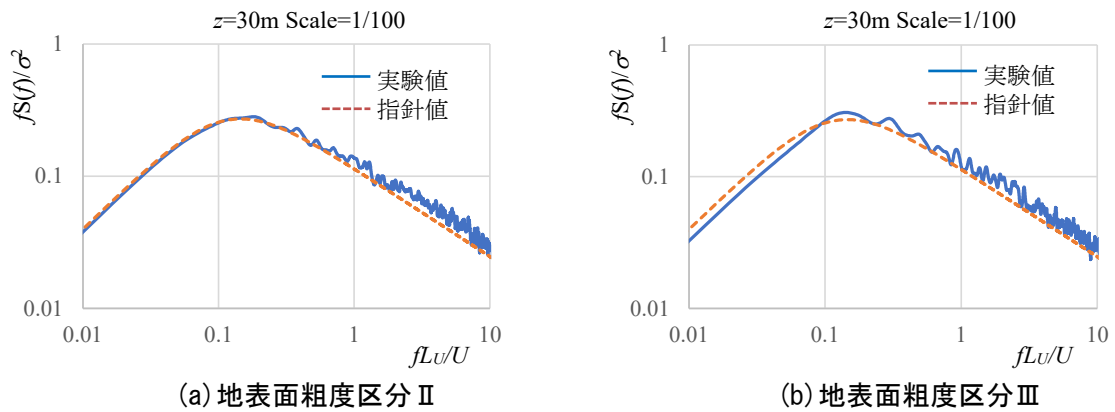


図 5-2 風洞気流のパワースペクトル密度

6. 実験方法

6.1 実験条件

風圧実験条件を以下に示す。

実験風向： 0° ～ 350° （ 10° ピッチ）+ 45° ～ 315° （ 45° ピッチ）の40風向。

模型状況 写真 6-1、写真 6-2 参照。

実験風向の定義は図 6-1 に示す通りである。

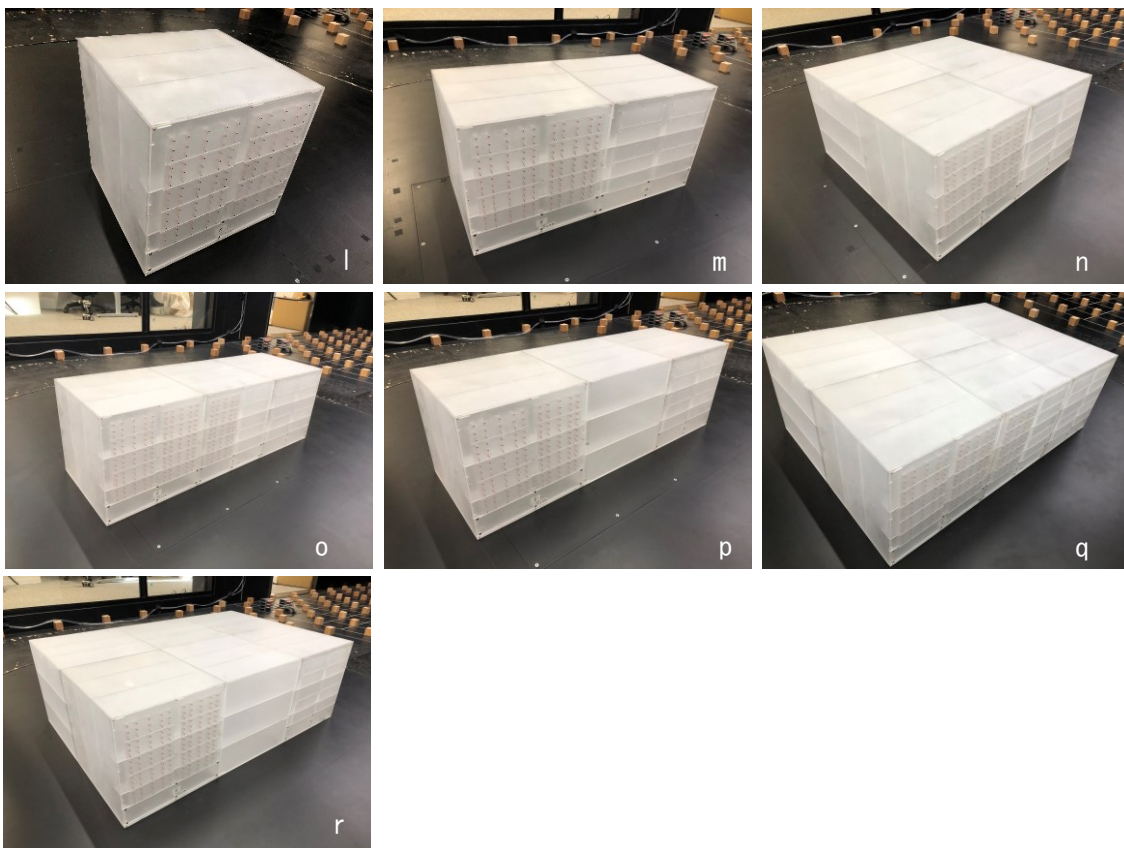


写真 6-1 実験ケース（2023 年度実施ケース）

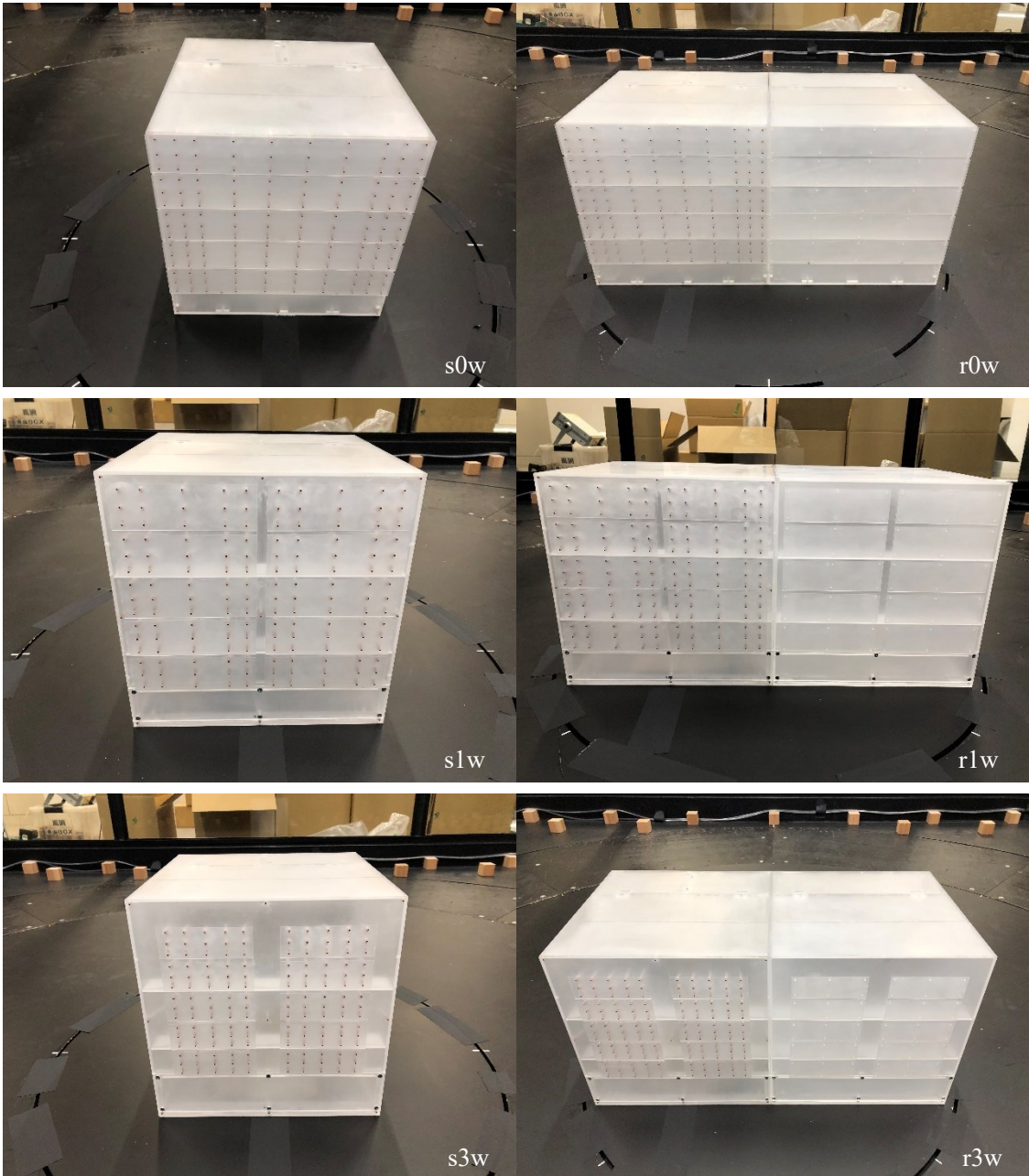


写真 6-2 実験ケース (2024 年度実施ケース)

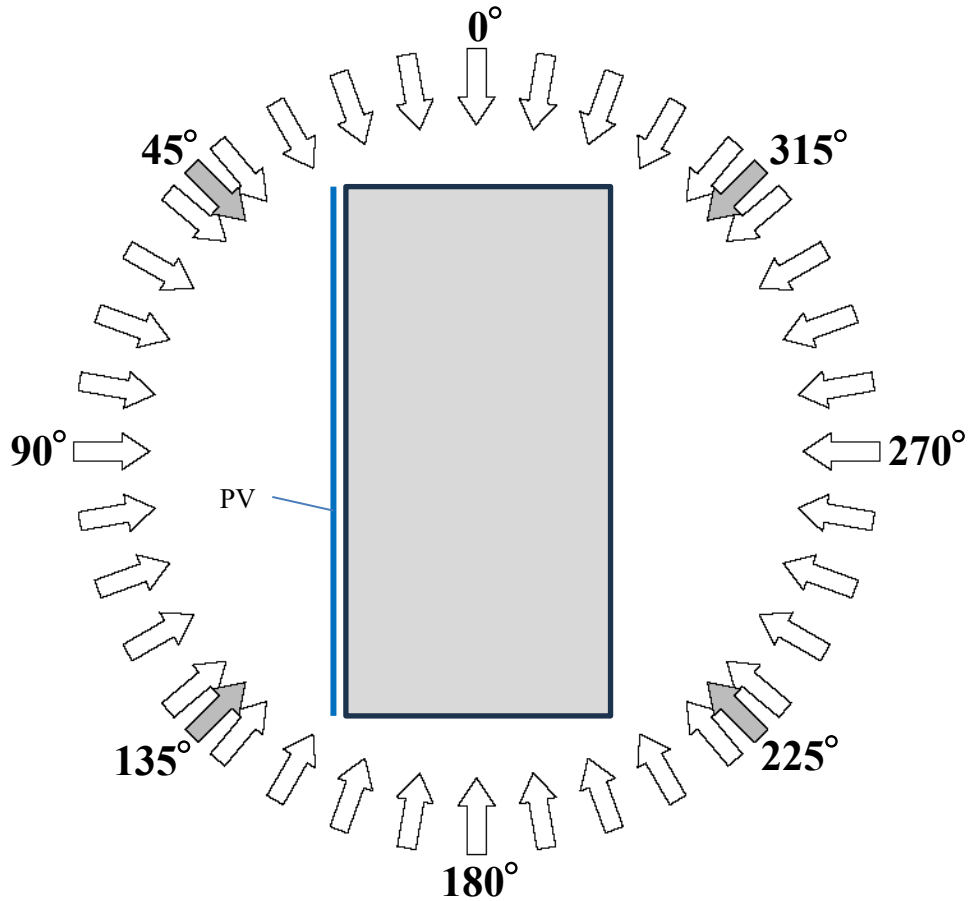


図 6-1 実験風向の定義

6.2 測定方法

6.2.1 測定装置

風圧の測定には表 6-1 に示す機器を用いたシステムを使用した。本システムは 576 点まで同時に風圧を測定することが可能である（図 6-2 参照）。

表 6-1 測定に用いた機器

設計装置	メーカー、型番	諸元	備考
風圧センサ	(株) クローネ	定格 $\pm 1,250\text{Pa}$ 、センサ出力 $\pm 3.5\text{V}$ 、応答時間 1ms	半導体センサ- 576ch
基準圧発生機	Druck PEACE6000	$\pm 6.86\text{kPa}$ 、分解能 $< 0.005\%FS$	正圧・負圧用外部圧力源
A/D 変換器	Power DNA/DRA	分解能 16bit、max4KHz sampling	24ch \times 24 台、同期接続

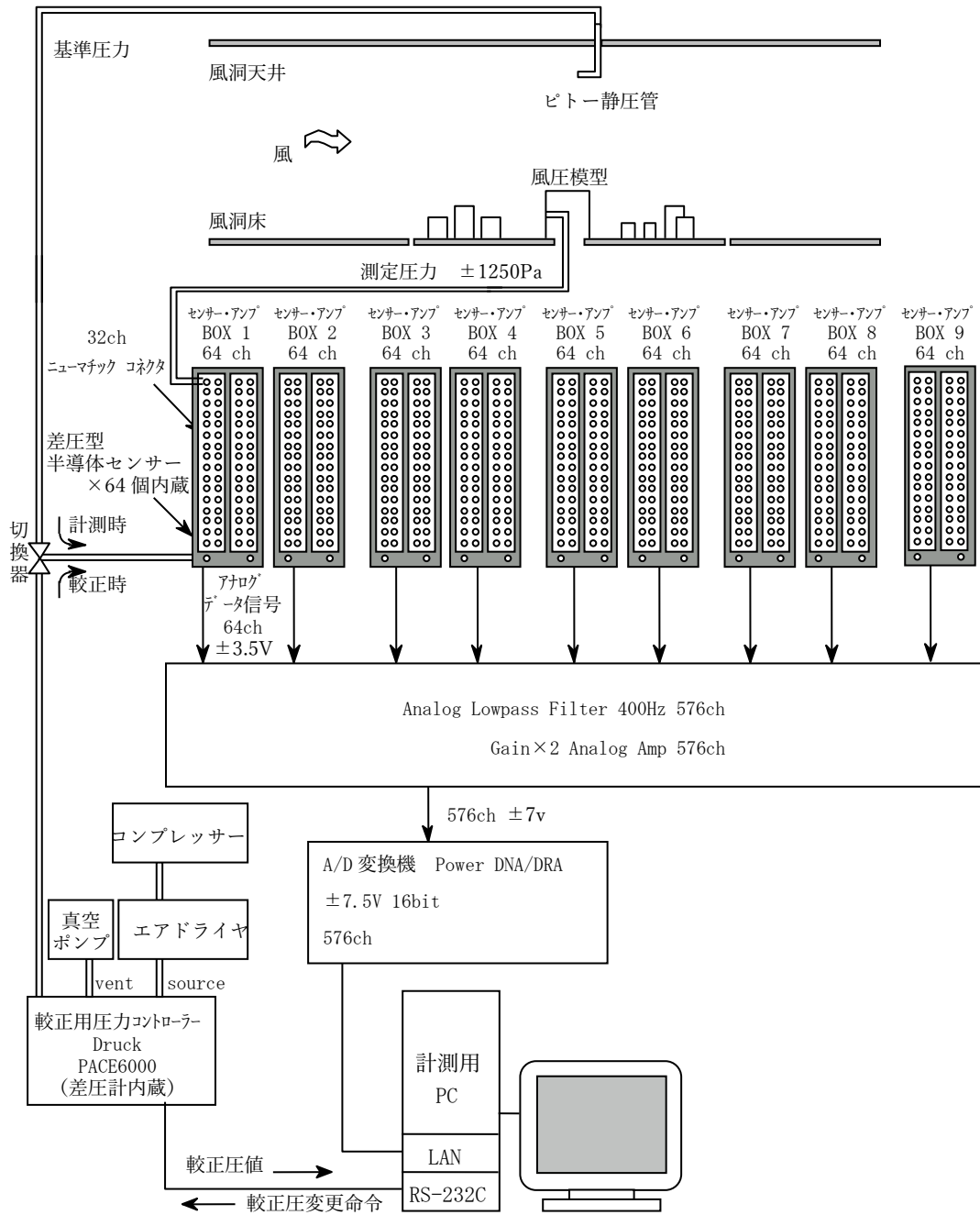


図 6-2 多点同時風圧計測システムのハード構成図

6.2.2 圧力導管の周波数応答特性

風圧は圧力タップ(内径 1mm、長さ 10mm)、ビニールチューブ(内径 1.4mm、2023 年度は長さ 1100mm、2024 年度は長さ 1000mm)を介して圧力計のセンサーに導かれる。したがって、これら圧力導管において共振現象(Helmholtz 共振)を生じるため、これを補正する必要がある。本実験では圧力導管の周波数応答特性(図 6-3 参照)をあらかじめ調べておき風圧測定後に補正した。この際、150Hz のローパスフィルターを施した。時間の縮尺率 λ_t 、長さの縮尺率 λ_l 、風速の縮尺率 λ_u には

$$\lambda_t = \lambda_l / \lambda_u \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

の関係があり、本実験では $\lambda_l = 1/100$ 、 $\lambda_u = 1/3.5$ 程度(設計風速は $V_0 = 34\text{m/s}$ を想定)となり、 $\lambda_t = 1/28$ であるので、実大相当で周波数 7Hz 程度までの変動が測定できていることになる。

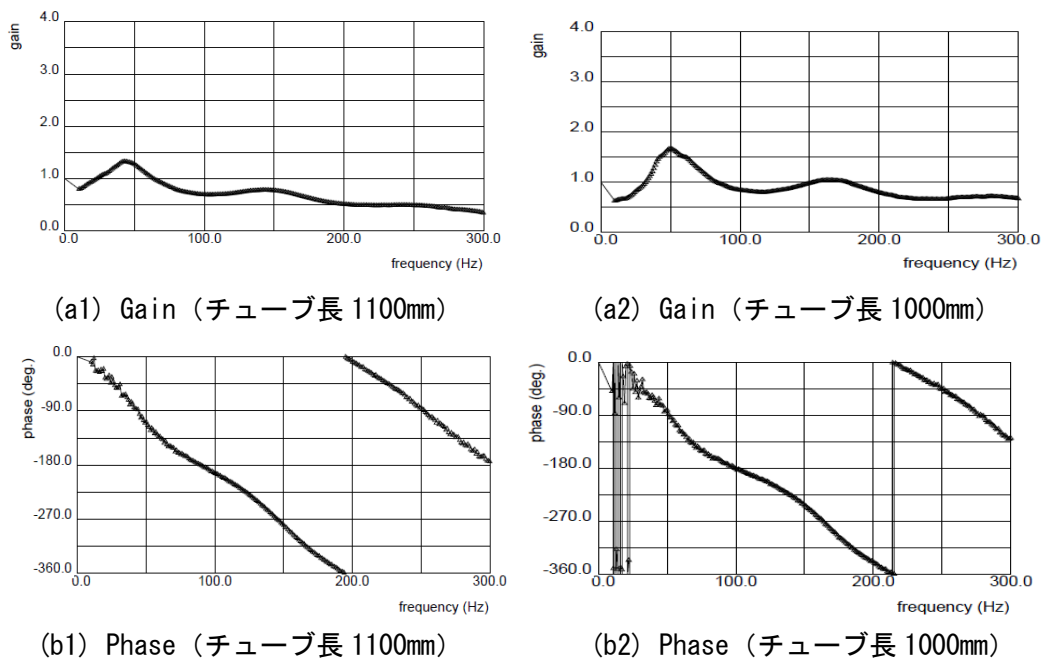


図 6-3 圧力導管の周波数応答特性

6.2.3 測定条件

図 6-4 には風洞ならびに風圧測定システムをブロック図として示す。模型に作用する風圧は風洞内の静圧(基準静圧)との差圧として次のサンプリング条件で測定した。

- ・ サンプリング間隔：0.001s (1,000Hz)
- ・ サンプリング時間：131s (131,072data/ch)

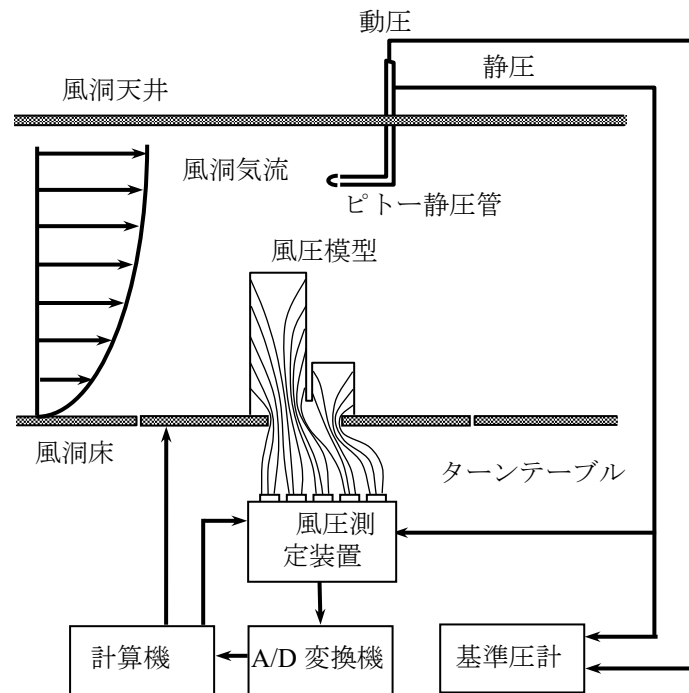


図 6-4 風洞ならびに風圧測定システム

6.3 解析方法

風洞実験で測定されたパネルの表面と裏面（壁面）の外圧 P_e は外圧係数 C_{pe} として評価した。パネルに作用する風力 P_f は、パネルの表面圧と壁面圧の差圧を風力係数 C_f として評価した。

6.3.1 外圧係数

外圧係数は風洞実験による外圧を次式で無次元化したものである。

$$C_{pe} = (P_e - P_s) / q_{He}$$

ここに、 C_{pe} ：外圧係数、 P_e ：外圧、 P_s ：基準静圧、
 q_{He} ：建物頂部高さ（実大 30m）における速度圧

実験では、差圧計により($P_e - P_s$)を直接測定した。

外圧係数は風速変動等により時々刻々と変化する値(瞬時風圧係数)であり、その平均値等を次のように呼ぶ。

平均外圧係数 $C_{pe\ m}$: 瞬時外圧係数の平均値

変動外圧係数 $C_{pe\ s}$: 瞬時外圧係数の標準偏差

最大外圧係数 $C_{pe\ max}$: 瞬時外圧係数の正圧側の最大値

最小外圧係数 $C_{pe\ min}$: 瞬時外圧係数の負圧側の最大値

また、 $C_{pe\ max}$ 、 $C_{pe\ min}$ を総称してピーク外圧係数 \hat{C}_{pe} と呼ぶ。

本実験では、評価対象である太陽電池モジュールのサイズを $1\text{m} \times 2\text{m}$ (2m^2) 程度とし、平均化時間を 0.2 秒、統計値を評価するデータ長さは実物換算で 10 分相当とした。測定データは実大約 60 分に相当するので、 $C_{pe\ s}$ 、 $C_{pe\ max}$ 、 $C_{pe\ min}$ 、 C_{pm} を 6 波のアンサンブル平均 (10 分毎に分析した結果の平均) として評価した。

6.3.2 風力係数

風力係数は風洞実験によるパネルの表面圧と裏面圧 (壁面圧) との差圧を無次元化したものである。

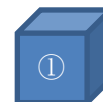
$$C_f = C_{pe} - C_{pi}$$

ここに、 C_f : 風力係数、 C_{pe} : 表面の外圧係数、 C_{pi} : 裏面 (壁面) の外圧係数、
外圧係数と同様に、風力係数についても平均、変動、最大、最小、ピーク風力係数がそれぞれ C_{fm} 、 C_{fs} 、 C_{fmax} 、 C_{fmin} 、 \hat{C}_f として定義される。

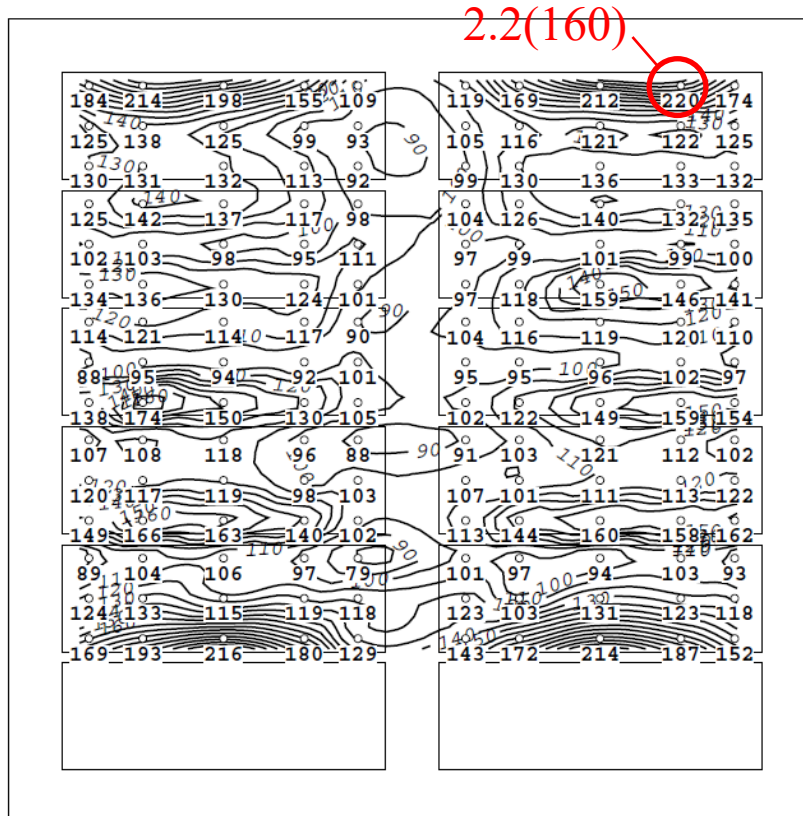
7. 実験結果

7.1 ピーク風力係数

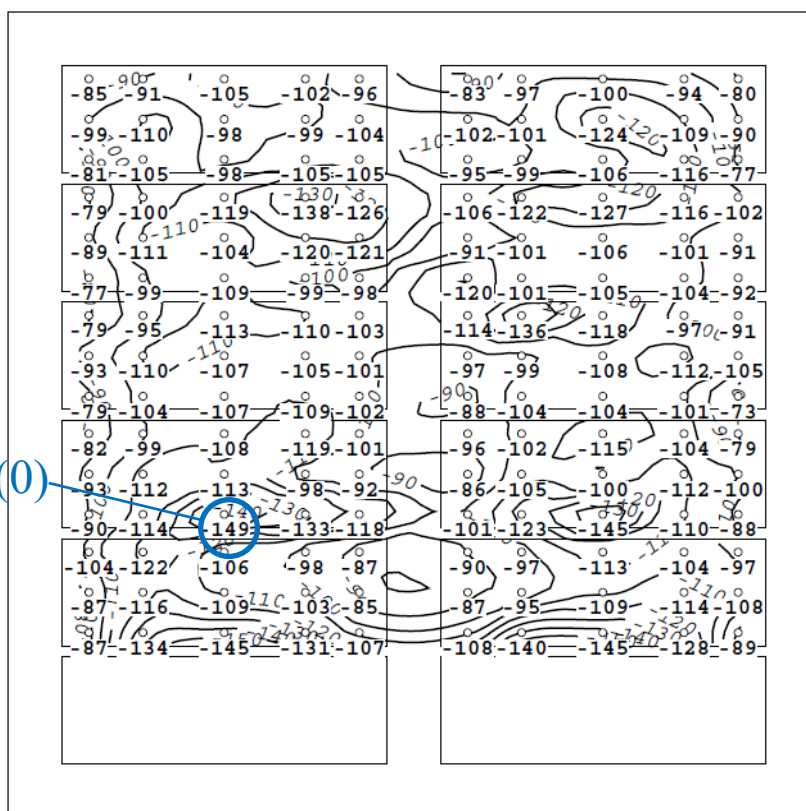
各測定点における PV の全風向中最大および最小のピーク風力係数（表面圧－壁面圧）の分布図を図 7-1～図 7-20 に示す。図 7-1～図 7-14 は、2023 年度に実施した離隔距離を 2m とした壁面設置型 PV の結果であり、地表面粗度区分Ⅱの結果とⅢの結果を示している。図 7-15～図 7-20 は 2024 年度に実施した離隔距離を 0m、1m、3m とした壁面設置型 PV の結果であり、地表面粗度区分Ⅲの結果を示している。図中の各測定点に示された数値（黒字）はピーク風力係数に 100 を乗じた値である。ピーク風力係数の最大値、最小値の発生部位は概ね PV 設置領域の外周部であるが、ケース l2l (図 7-1(b))、s0w (図 7-15(a))、r0w (図 7-16(a))、slw (図 7-17(a)、(b))、rlw (図 7-18(a)) においては、アレイ間の隙間が影響し、外周以外でピーク値が発生している。また、壁面の場合、建設省告示 1458 号に示されている帳壁のピーク風力係数は、正側（最大値）は上層ほど値が大きくなり、負側（最小値）は隅角部と中央部で部位分けされているが、本実験結果は、壁面に設置された PV の表面圧と裏面（壁面）圧の差圧から求めたピーク風力係数であるため、壁面帳壁に作用するピーク風力係数とは傾向が異なっている。そこで、壁面設置型 PV については、屋根設置型 PV のように部位分けを行わず、全領域において最大値および最小値が発生する点に丸印とその点のピーク風力係数を示すこととした。



注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向



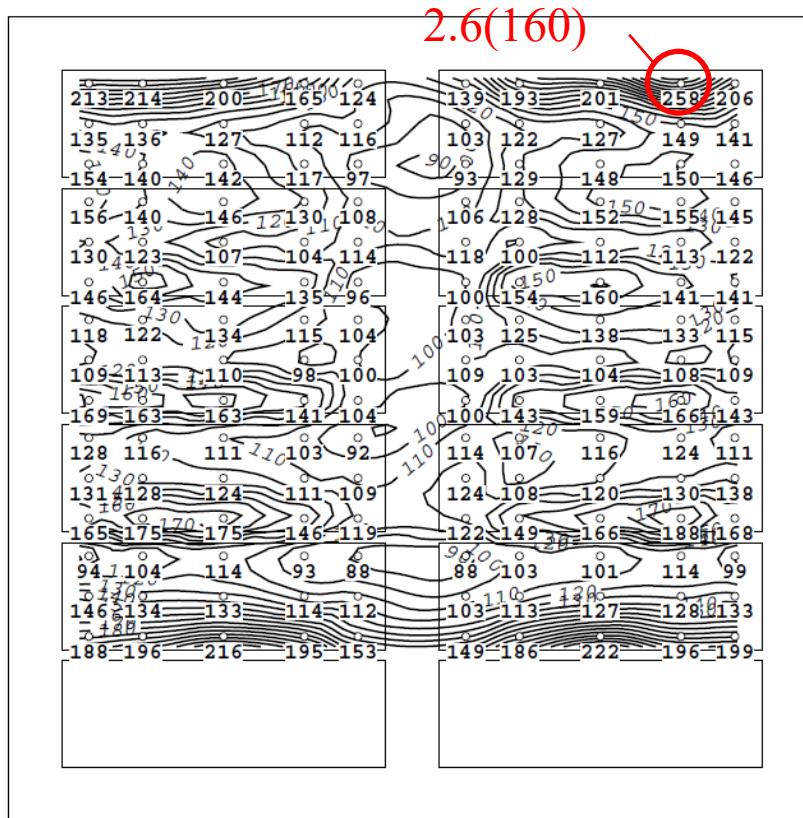
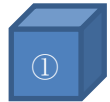
(a) 全風向中最大値



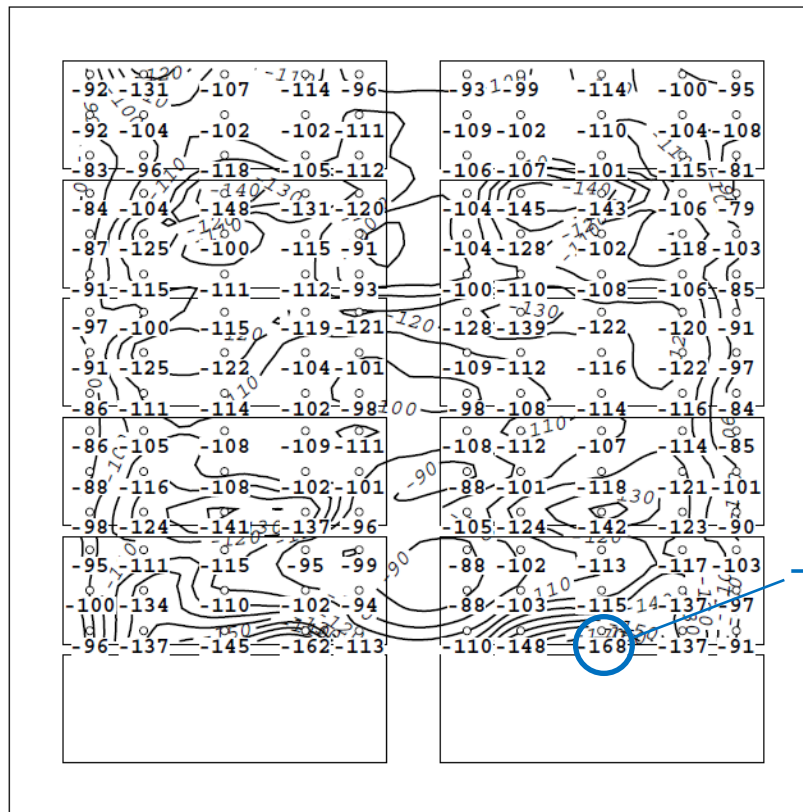
(b) 全風向中最小値

図 7-1 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース |2|、粗度区分 II）

注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向



(a) 全風向中最大値

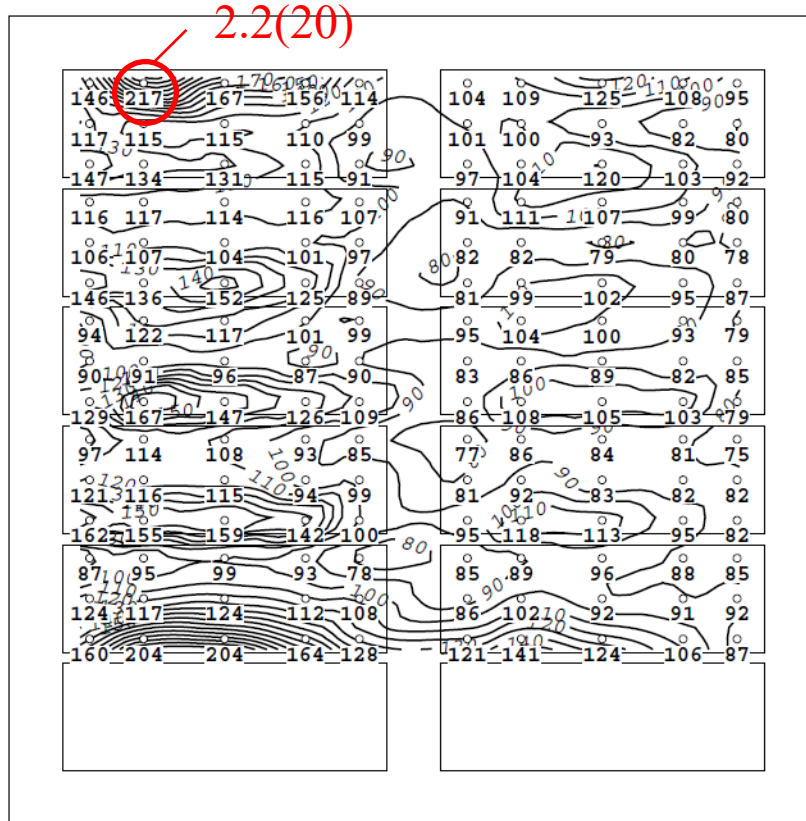


(b) 全風向中最小値

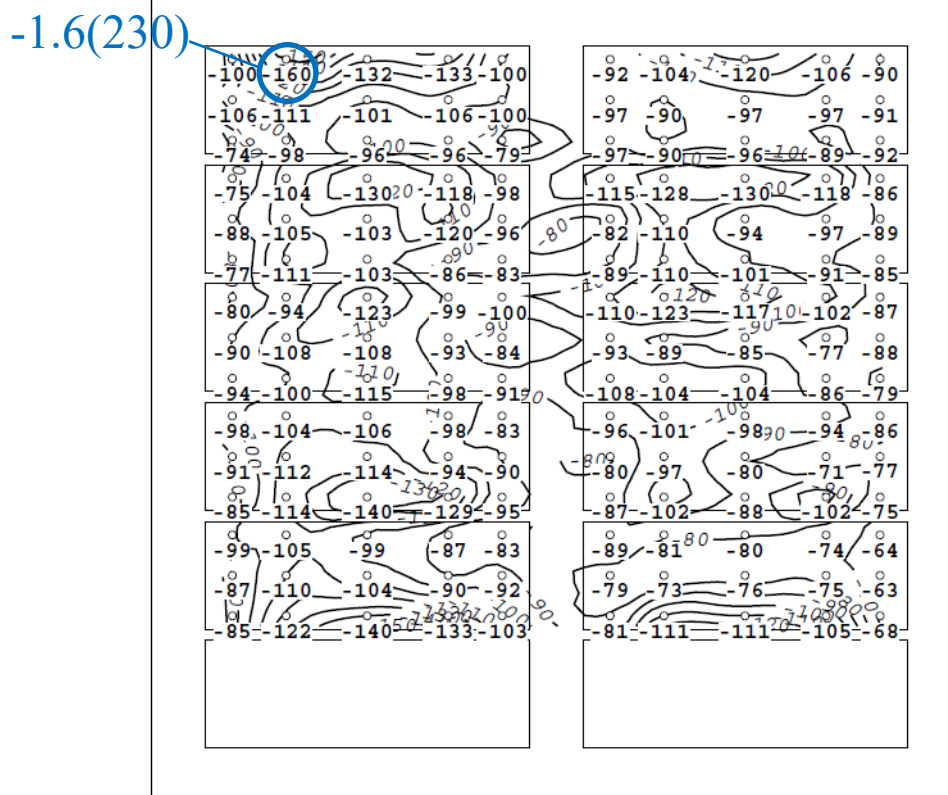
図 7-2 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース 131、粗度区分Ⅲ）



注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向



(a) 全風向中最大値

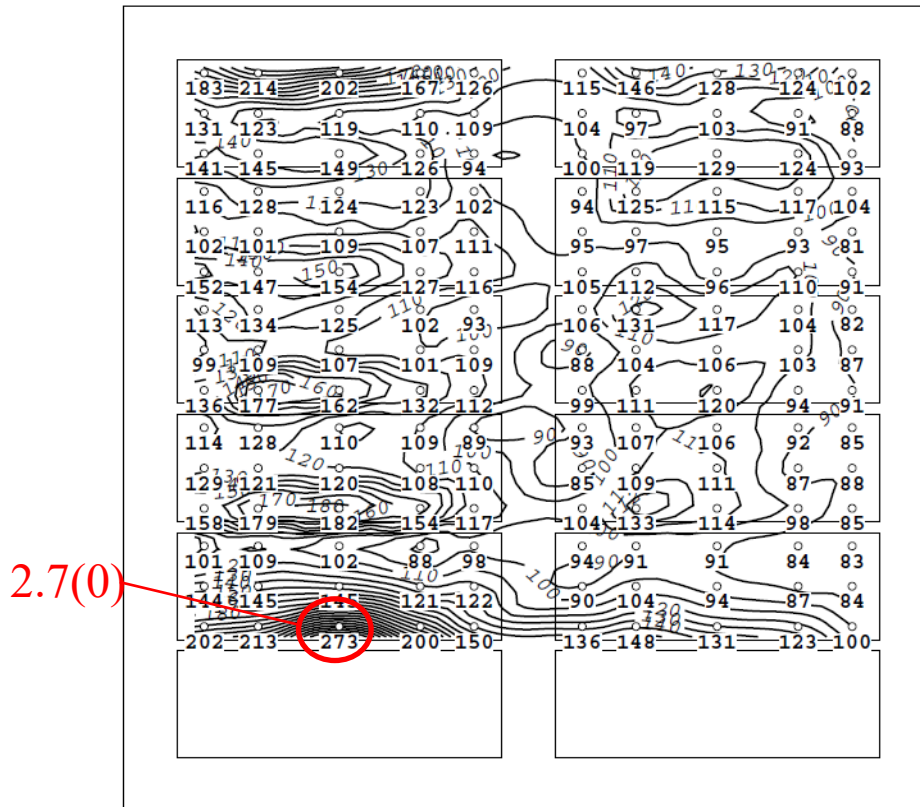


(b) 全風向中最小値

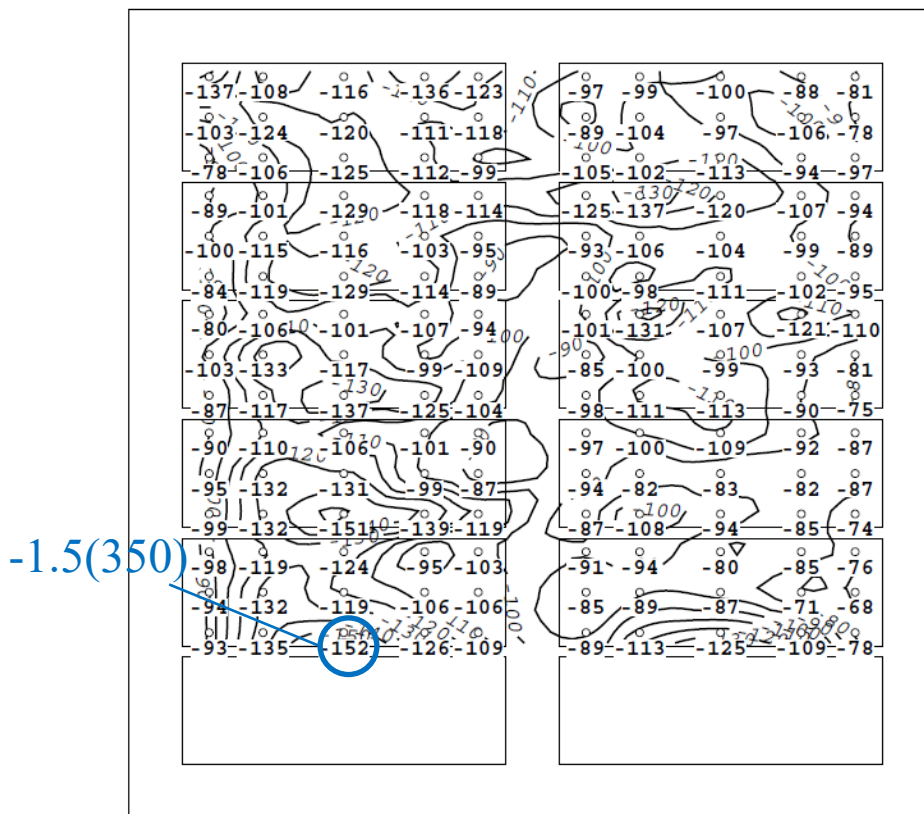
図 7-3 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース m2m、粗度区分Ⅱ）



注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向

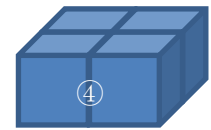


(a) 全風向中最大値

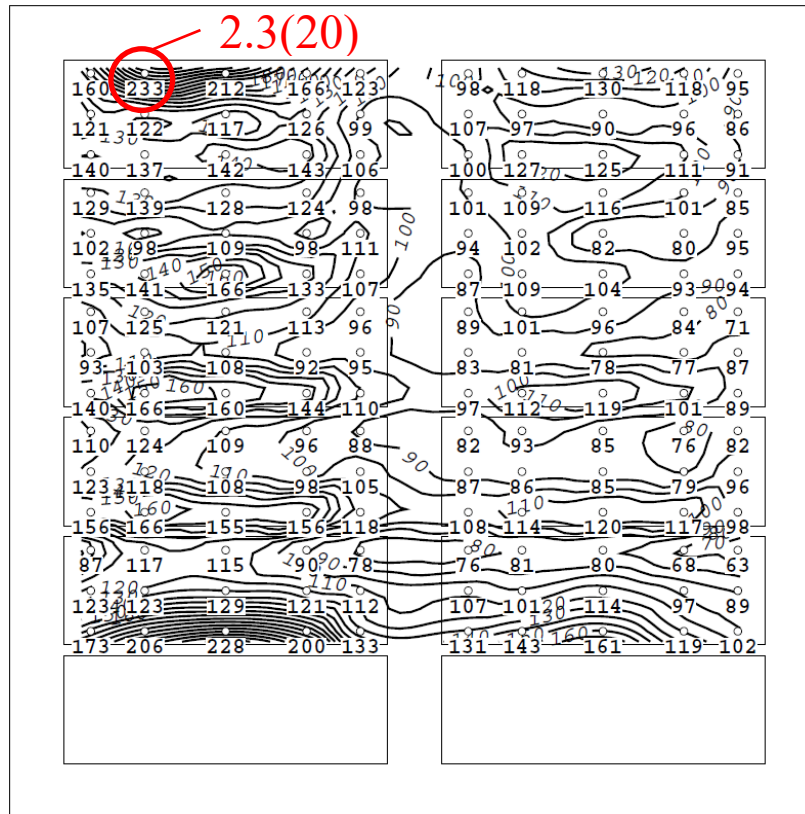


(b) 全風向中最小値

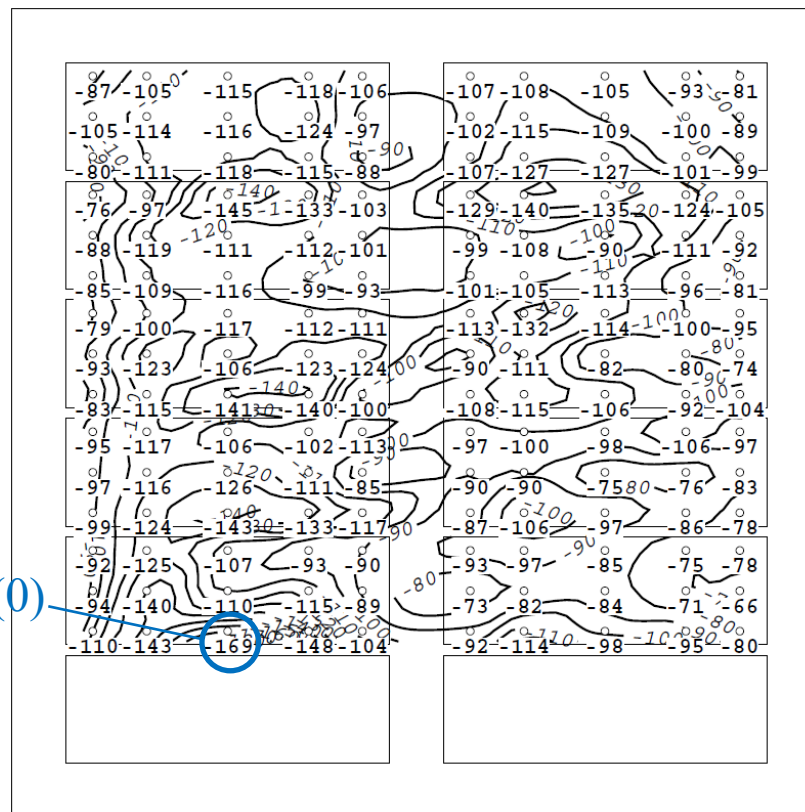
図 7-4 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース m3m、粗度区分Ⅲ）



注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向

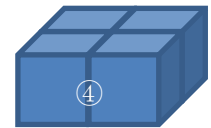


(a) 全風向中最大値

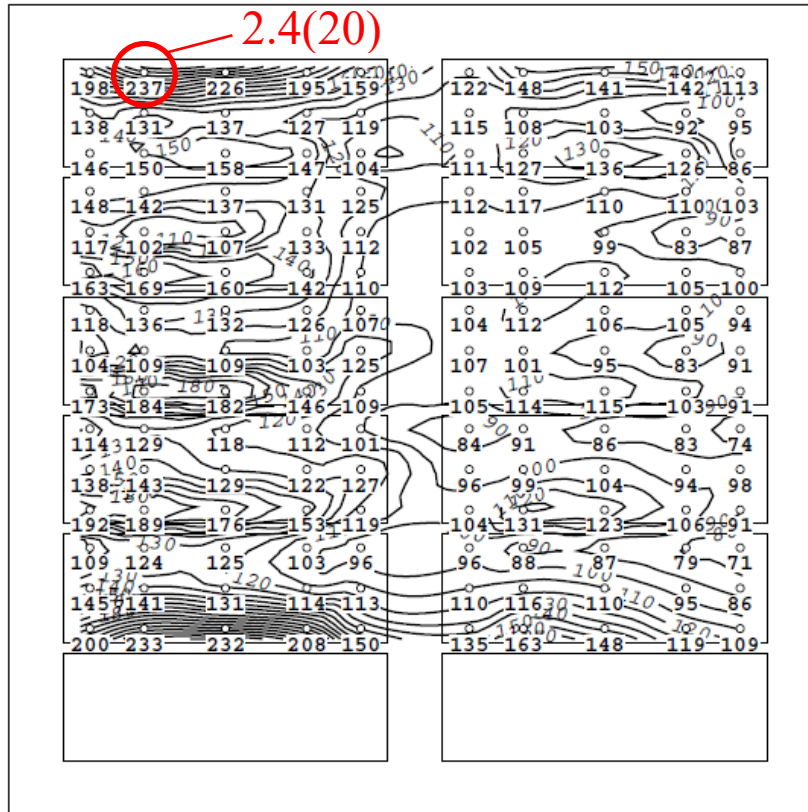


(b) 全風向中最小値

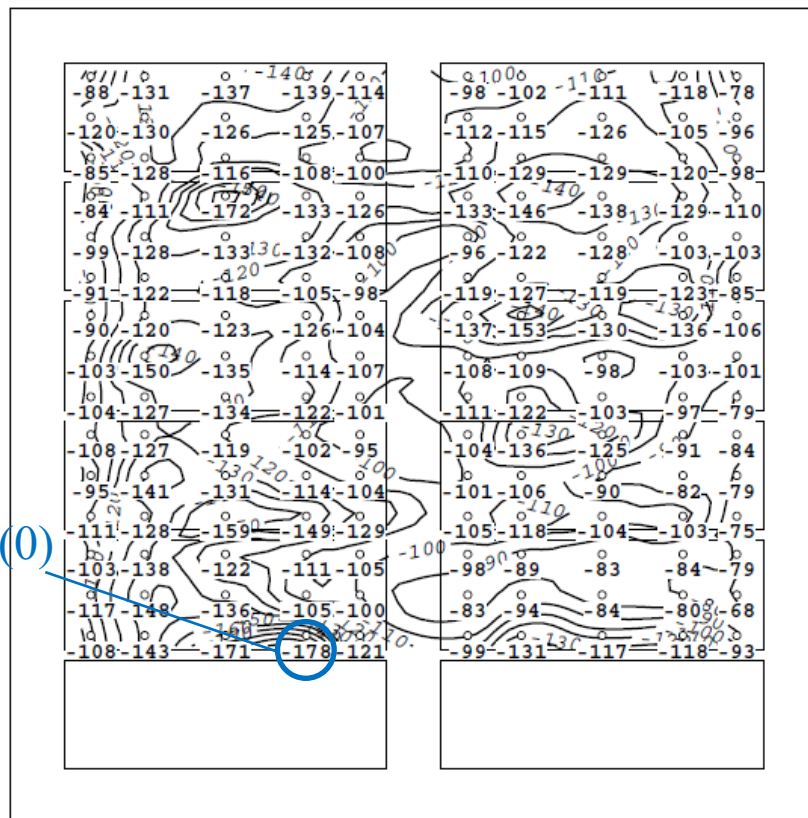
図 7-5 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース n2n、粗度区分 II）



注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向



(a) 全風向中最大値

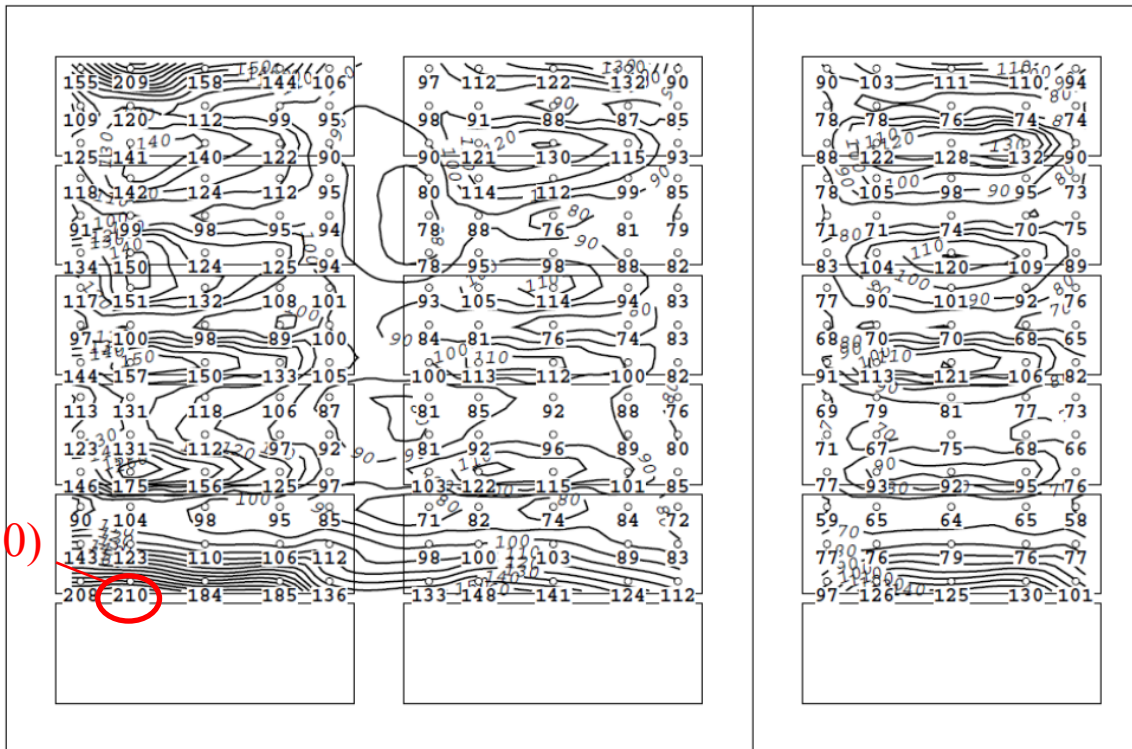


(b) 全風向中最小値

図 7-6 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース n3n、粗度区分Ⅲ）

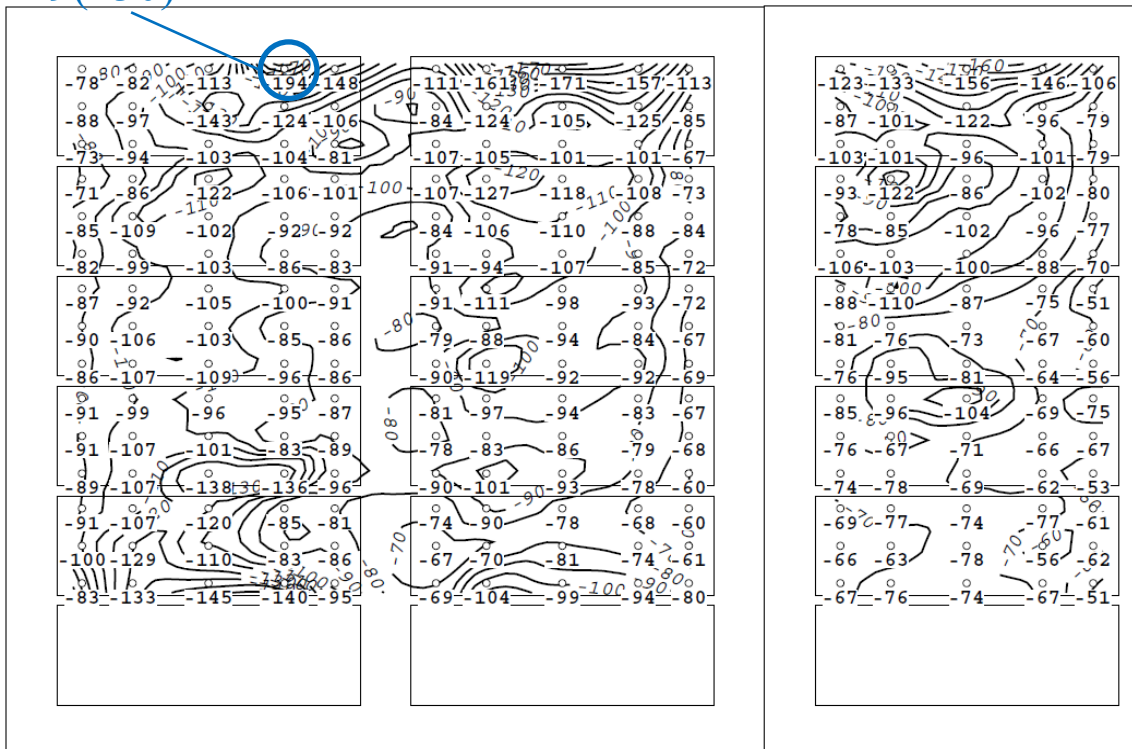
注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向

2.1(10)



(a) 全風向中最大値

-1.9(230)



(b) 全風向中最小値

図 7-7 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース o2o、粗度区分Ⅱ）

注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向

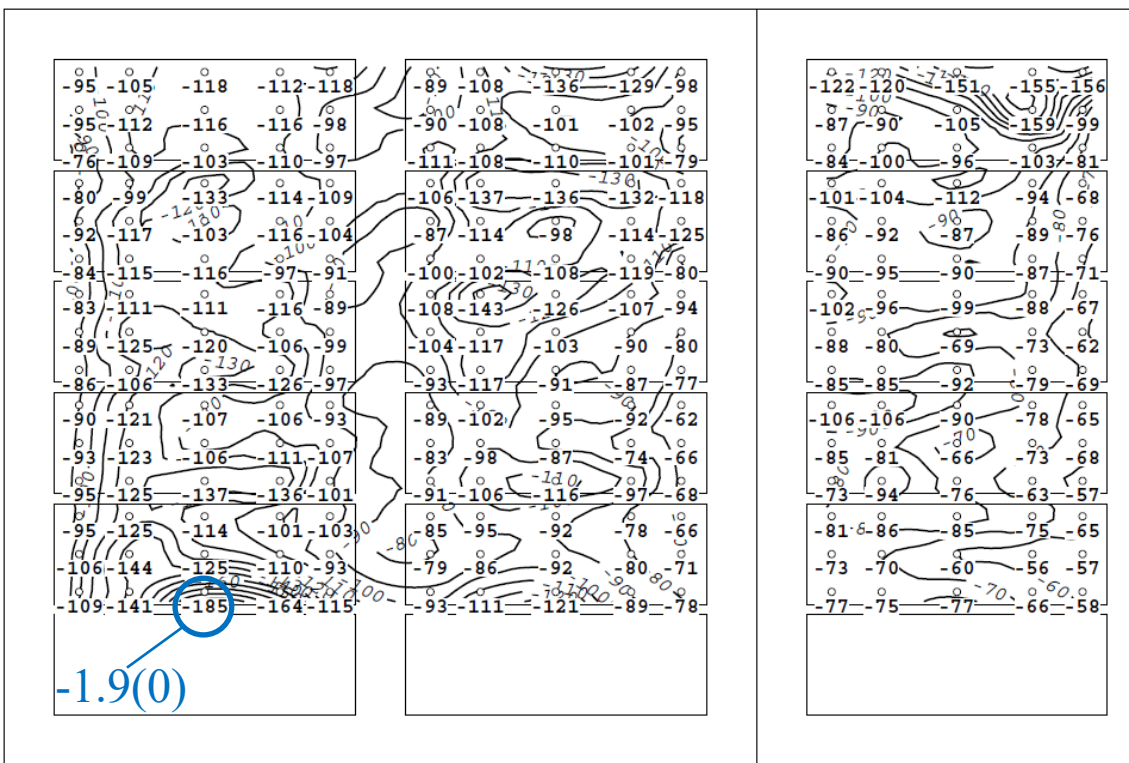
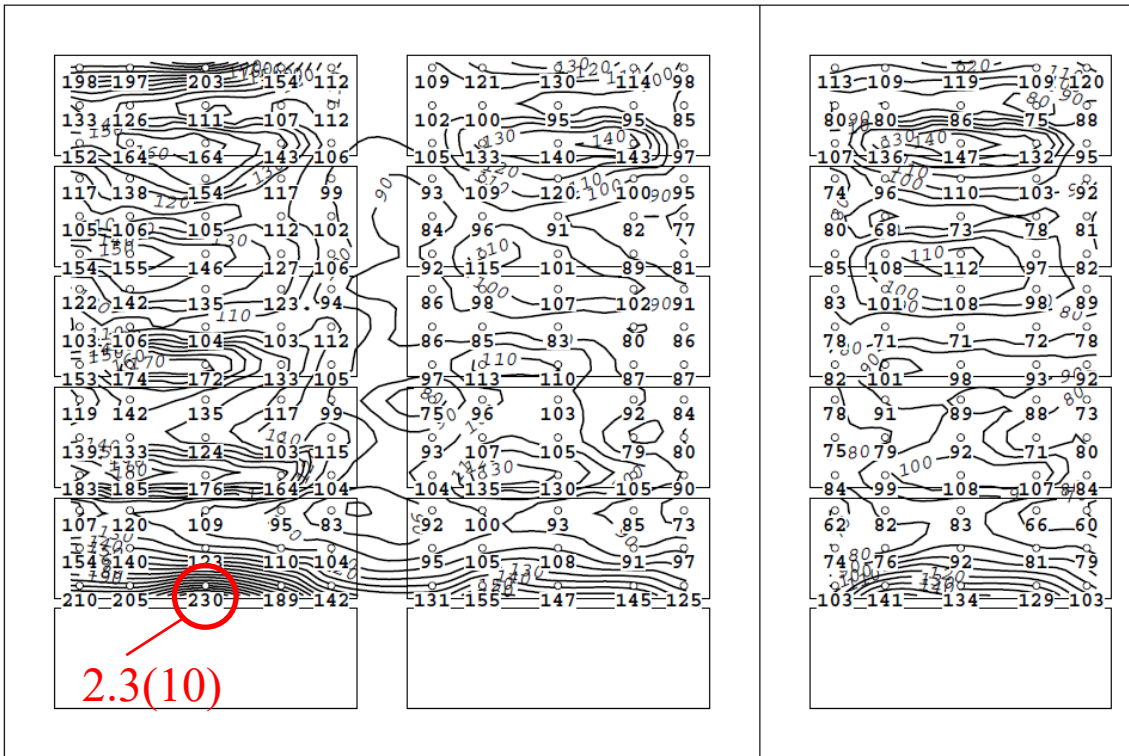
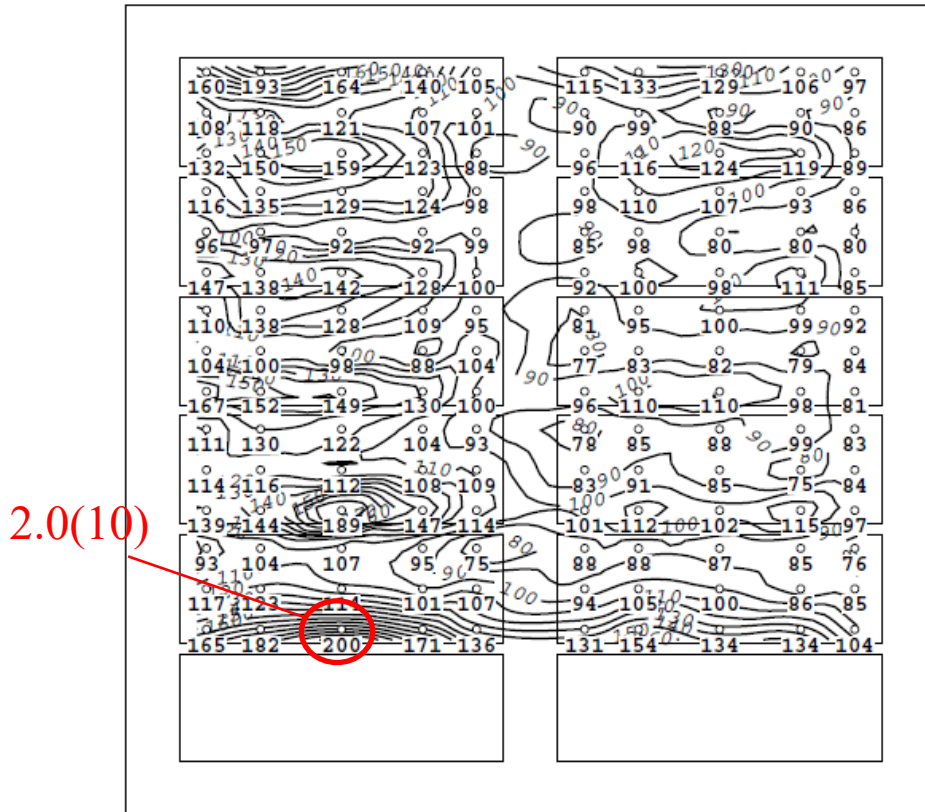


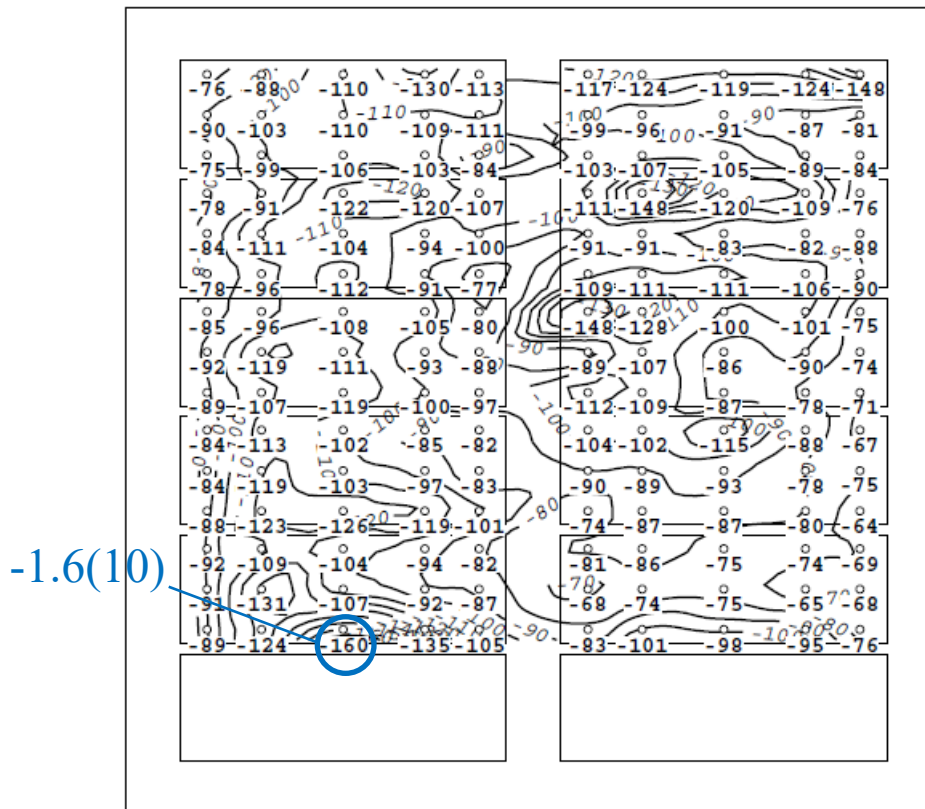
図 7-8 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース o3o、粗度区分Ⅲ）



注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向



(a) 全風向中最大値

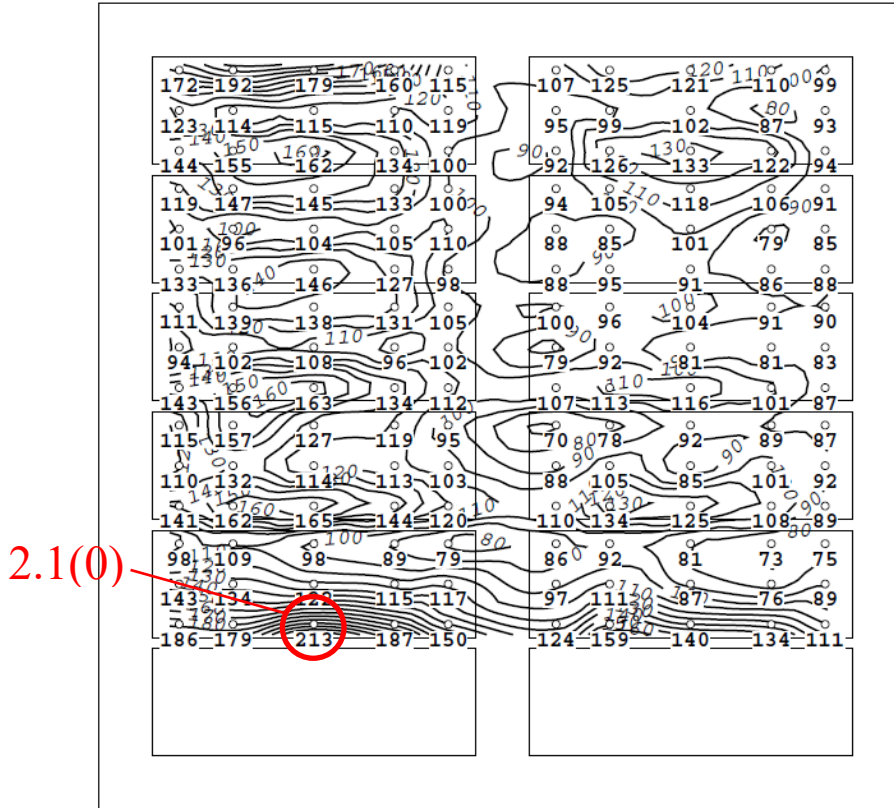


(b) 全風向中最小値

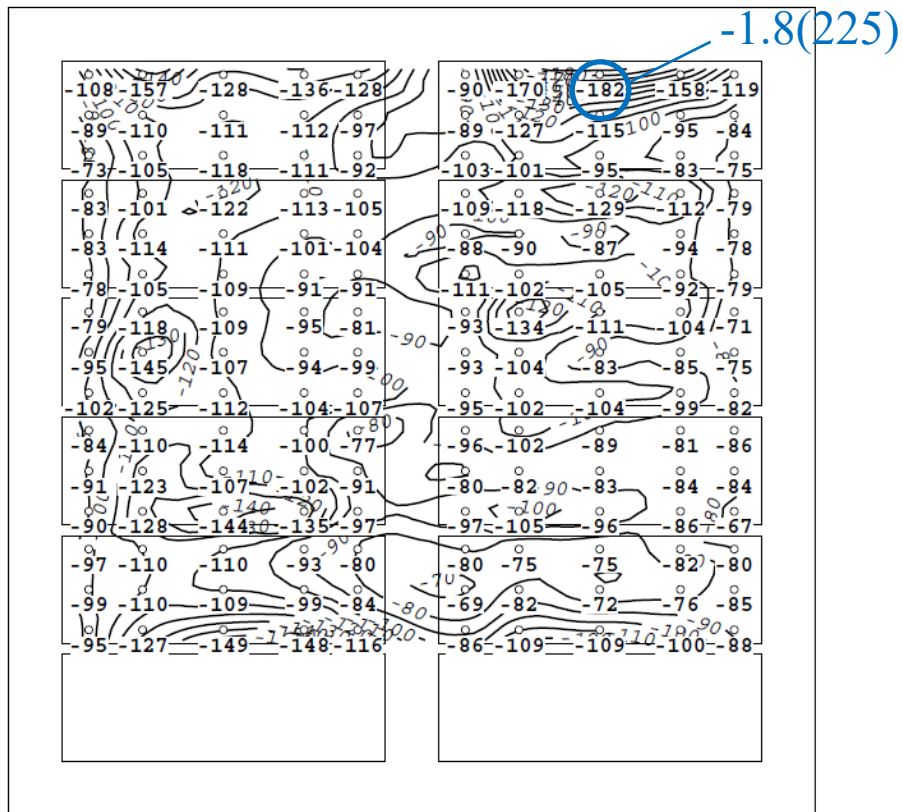
図 7-9 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース p2p、粗度区分 II）



注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向



(a) 全風向中最大値

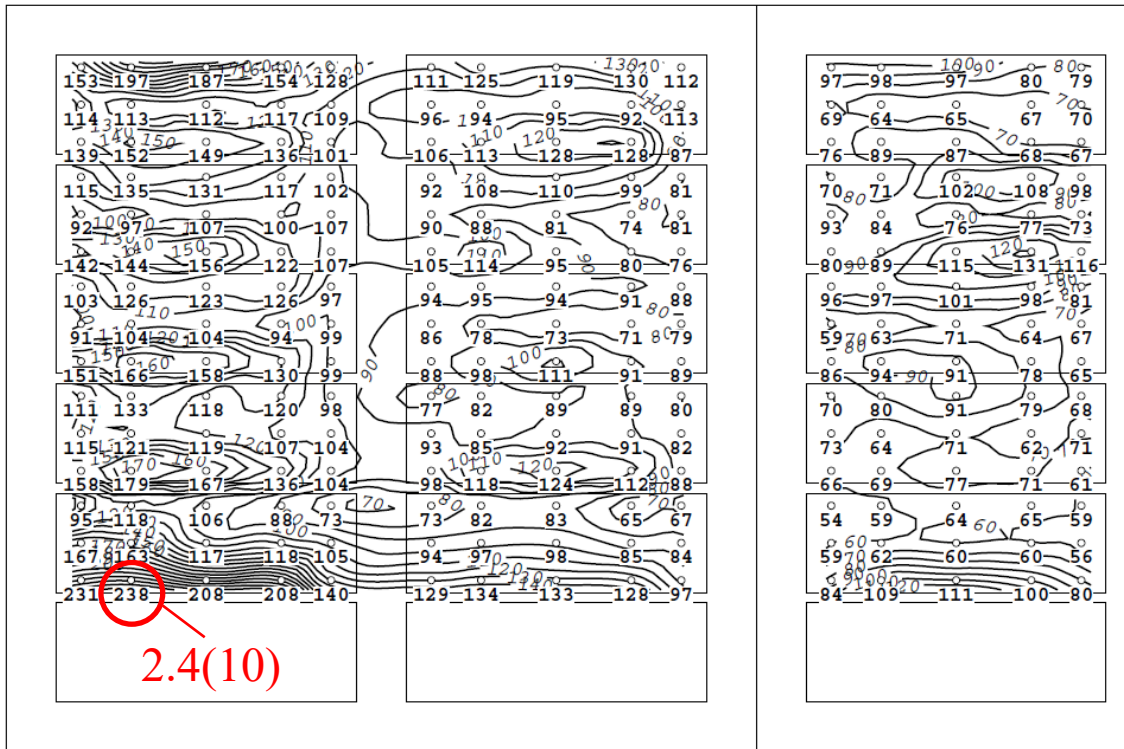


(b) 全風向中最小値

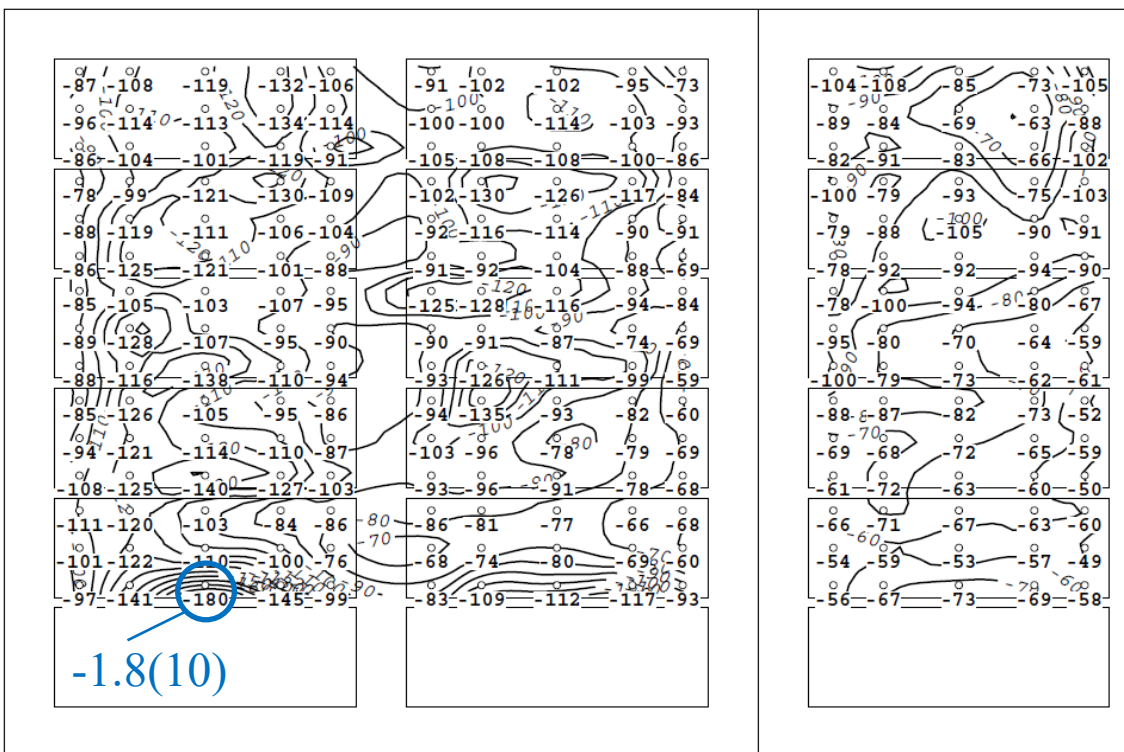
図 7-10 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース p3p、粗度区分Ⅲ）



注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向



(a) 全風向中最大値

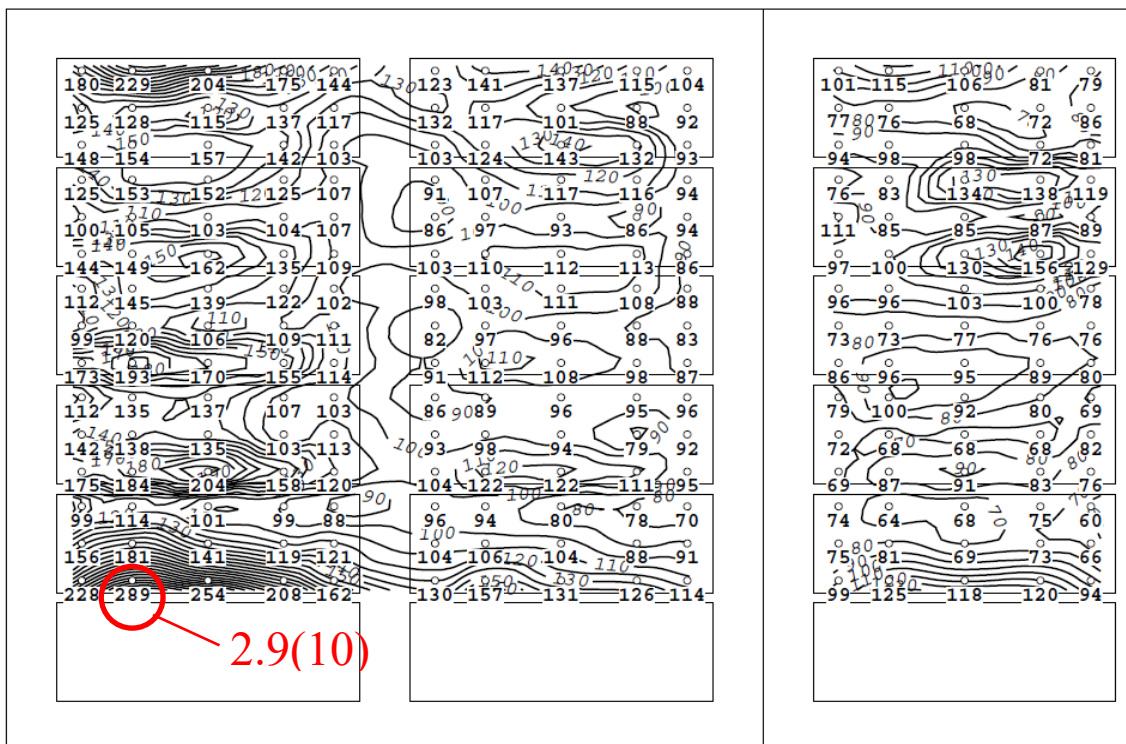


(b) 全風向中最小値

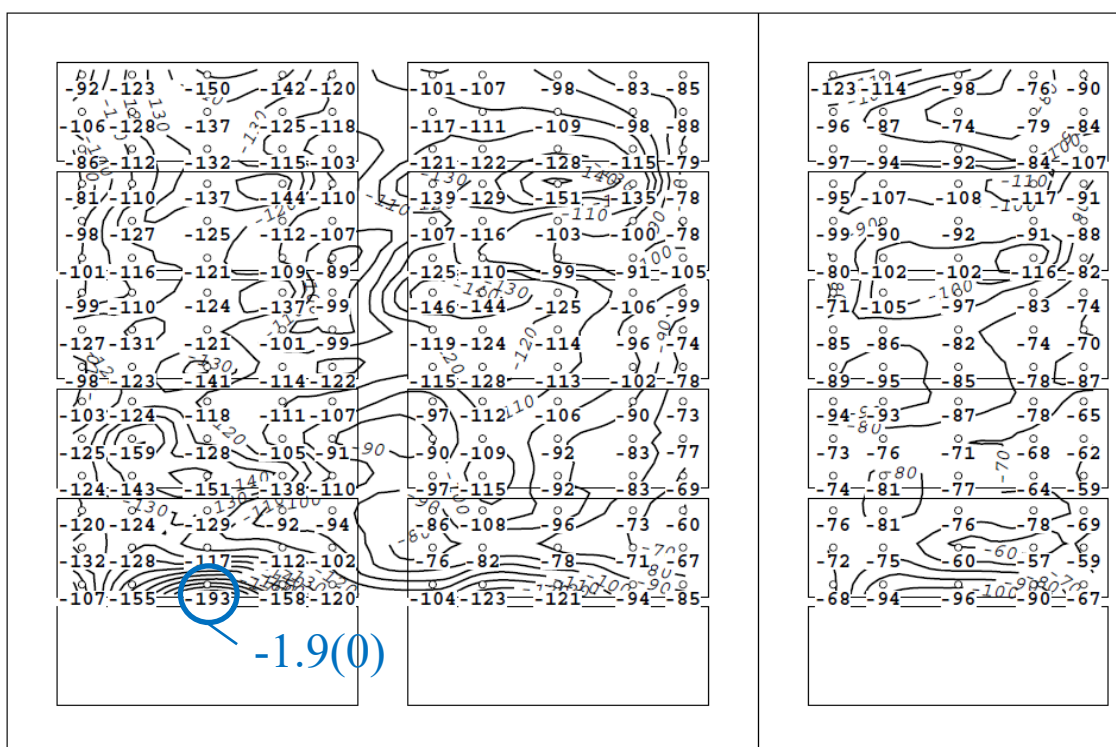
図 7-11 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース q2q、粗度区分Ⅱ）



注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向



(a) 全風向中最大値

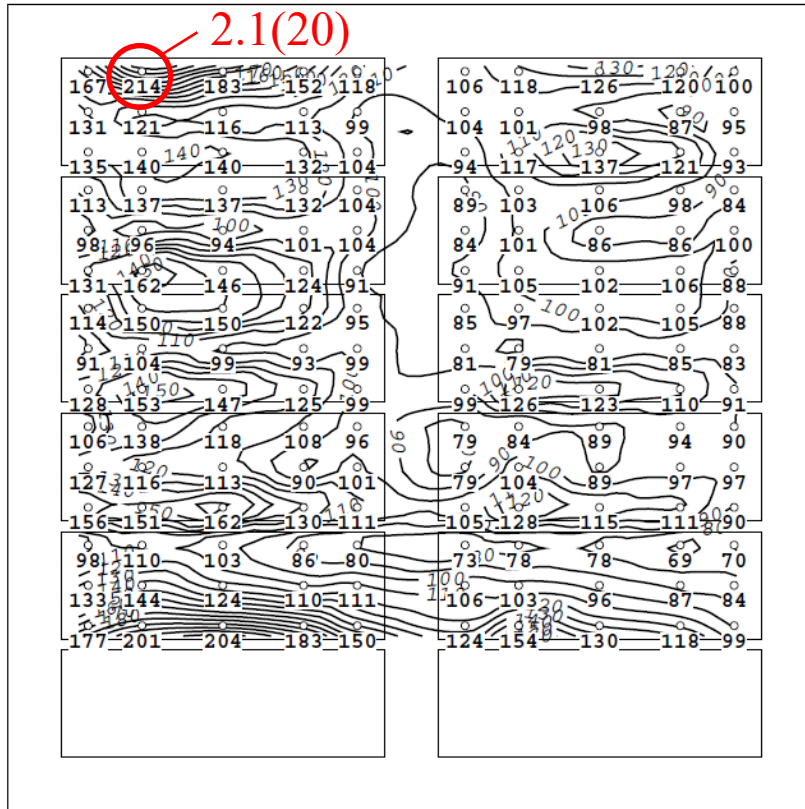


(b) 全風向中最小値

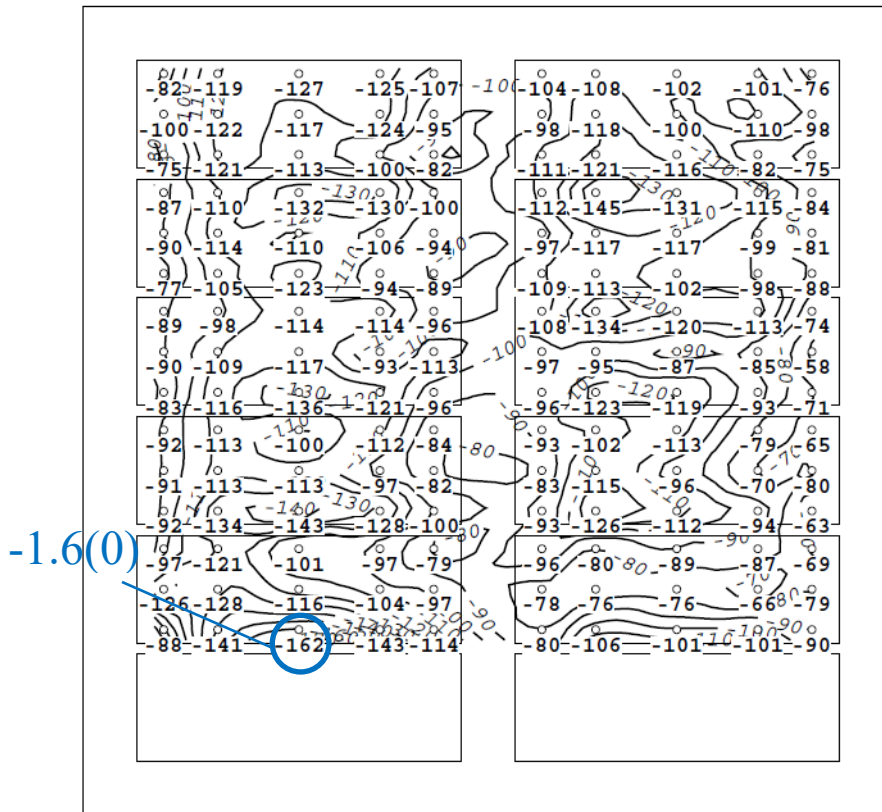
図 7-12 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース q3q、粗度区分Ⅲ）



注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向



(a) 全風向中最大値



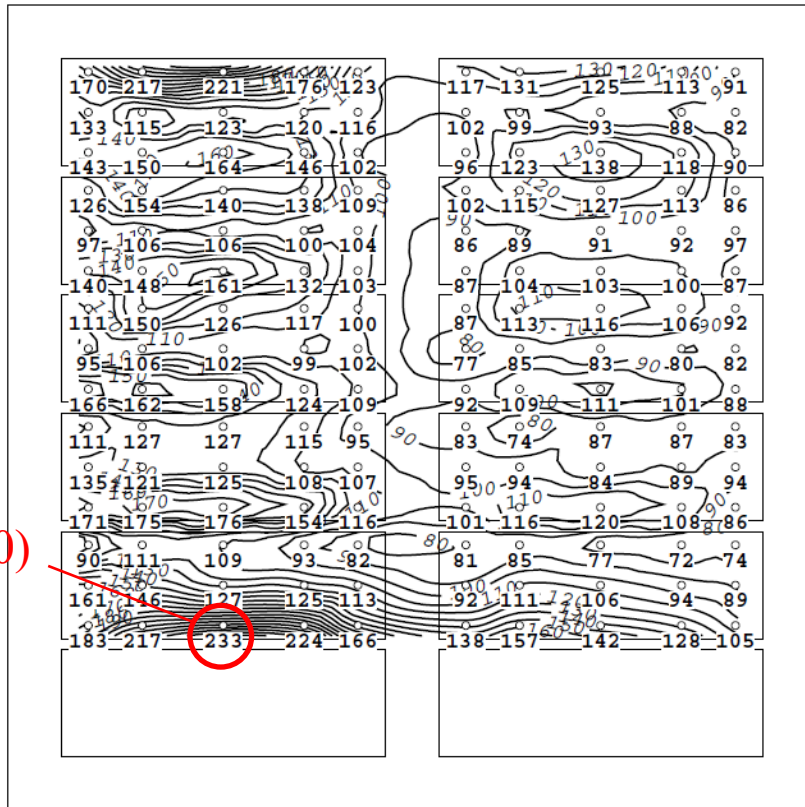
(b) 全風向中最小値

図 7-13 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース r2r、粗度区分Ⅱ）



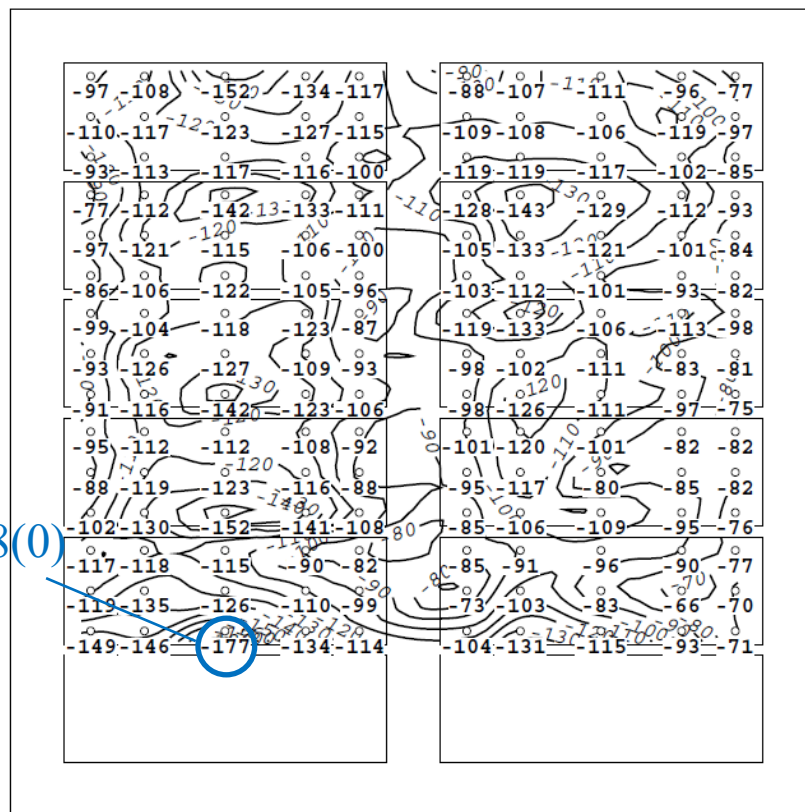
注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向

2.3(10)



(a) 全風向中最大値

-1.8(0)

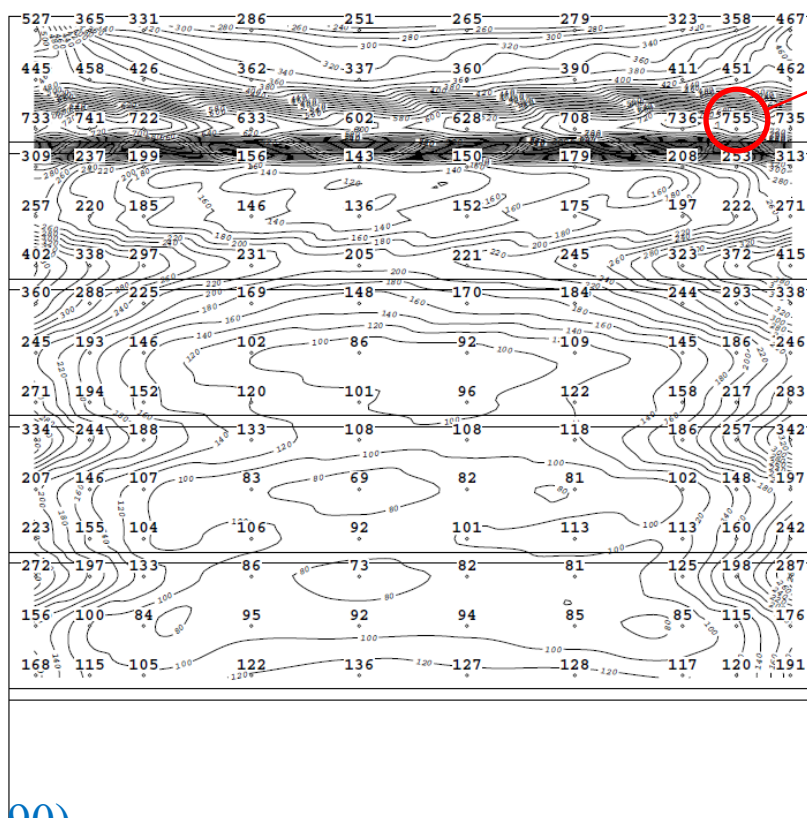


(b) 全風向中最小値

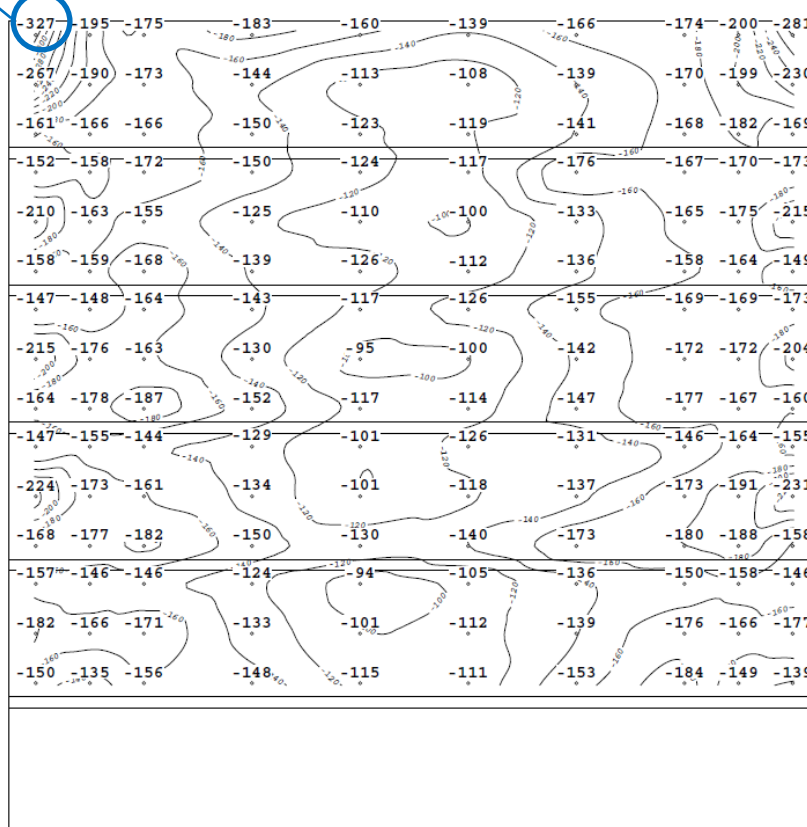
図 7-14 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース r3r、粗度区分Ⅲ）



注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向



(a) 全風向中最大値



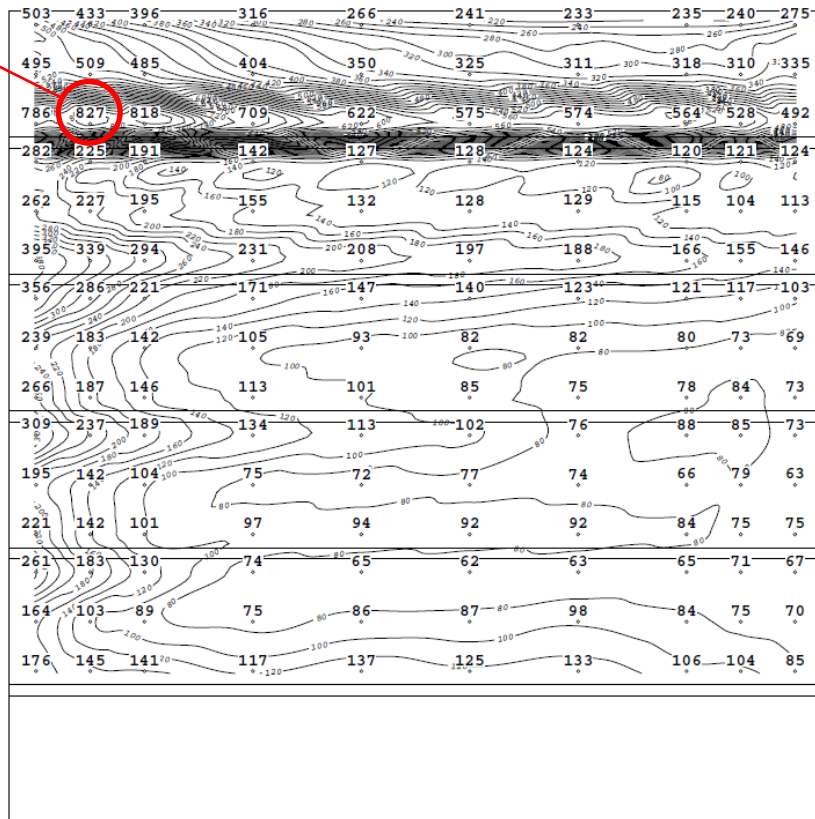
(b) 全風向中最小値

図 7-15 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース s0w、粗度区分Ⅲ）



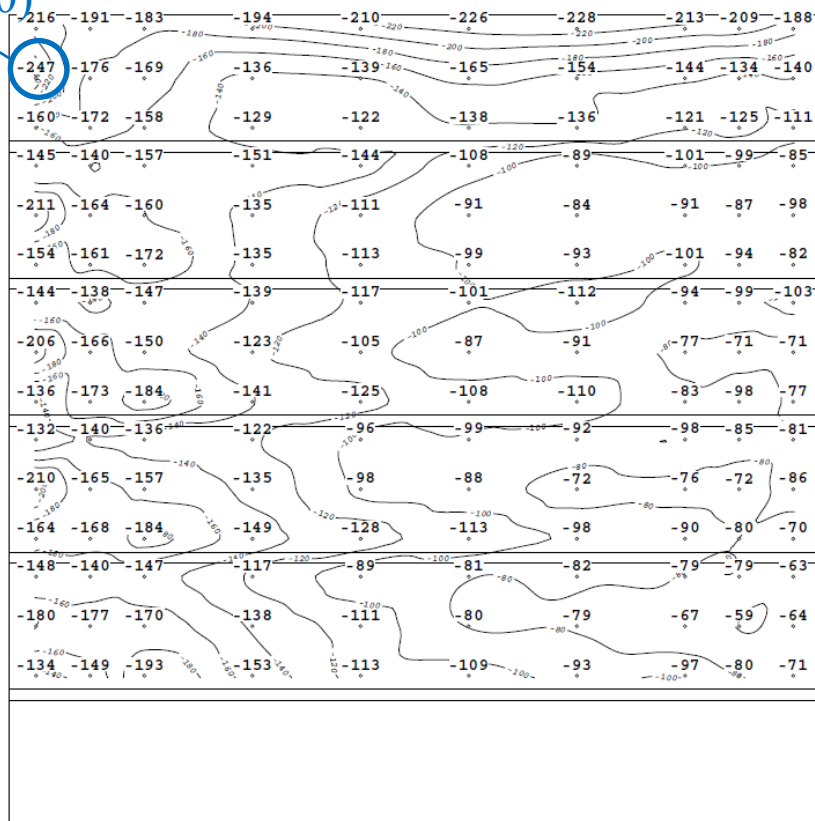
注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向

8.3(50)



(a) 全風向中最大値

-2.5(10)



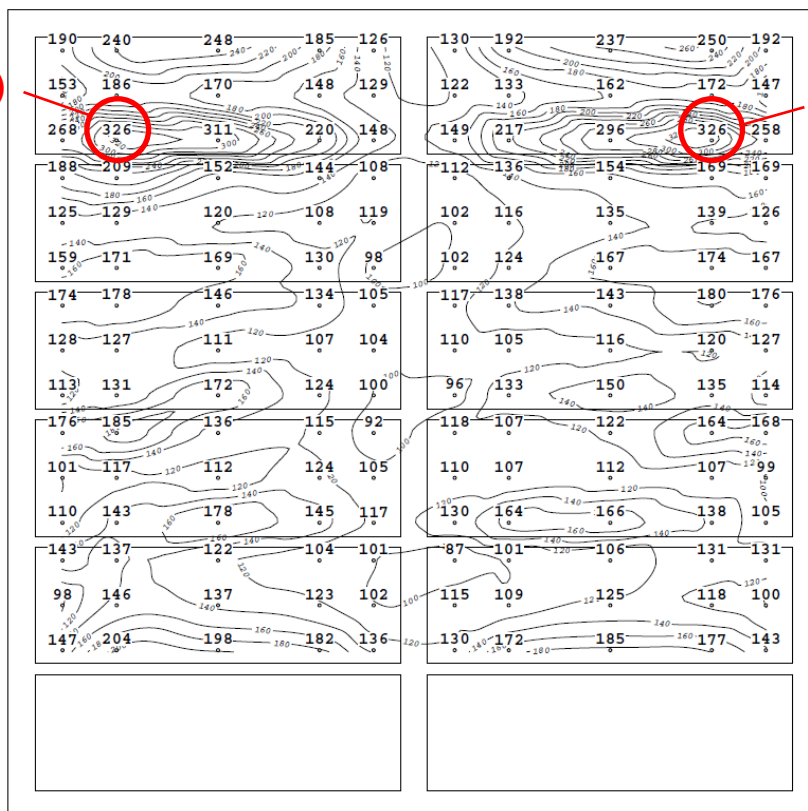
(b) 全風向中最小値

図 7-16 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース r0w、粗度区分Ⅲ）



注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向

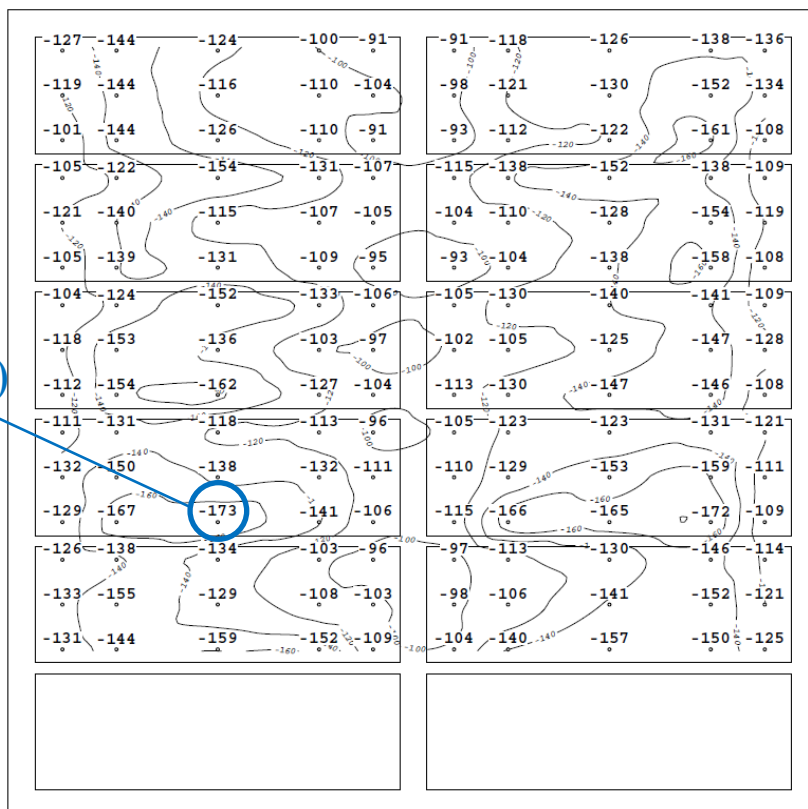
3.3(80)



3.3(90)

(a) 全風向中最大値

-1.7(0)



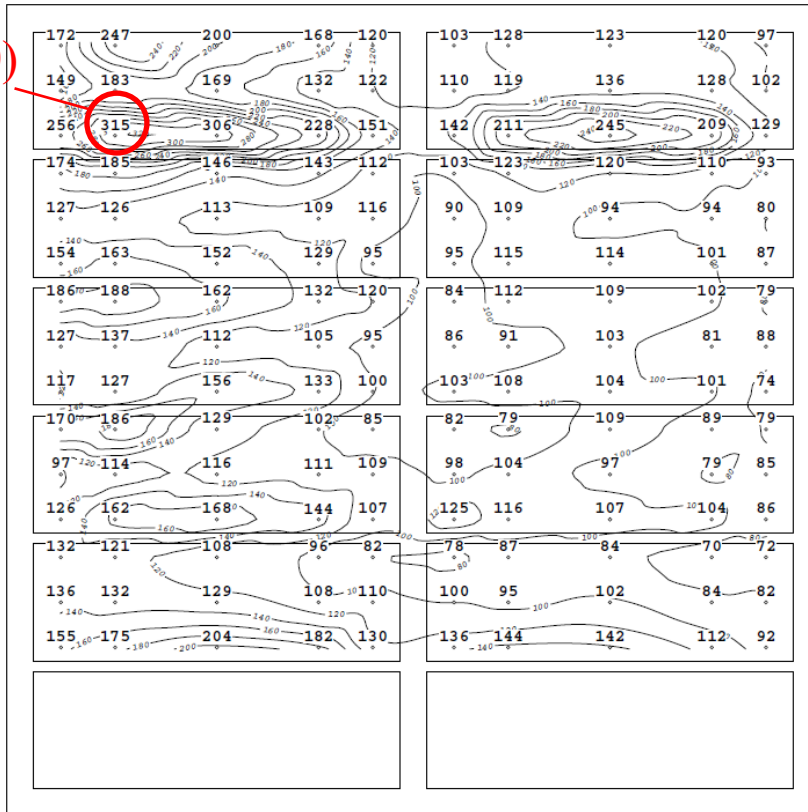
(b) 全風向中最小値

図 7-17 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース s1w、粗度区分Ⅲ）



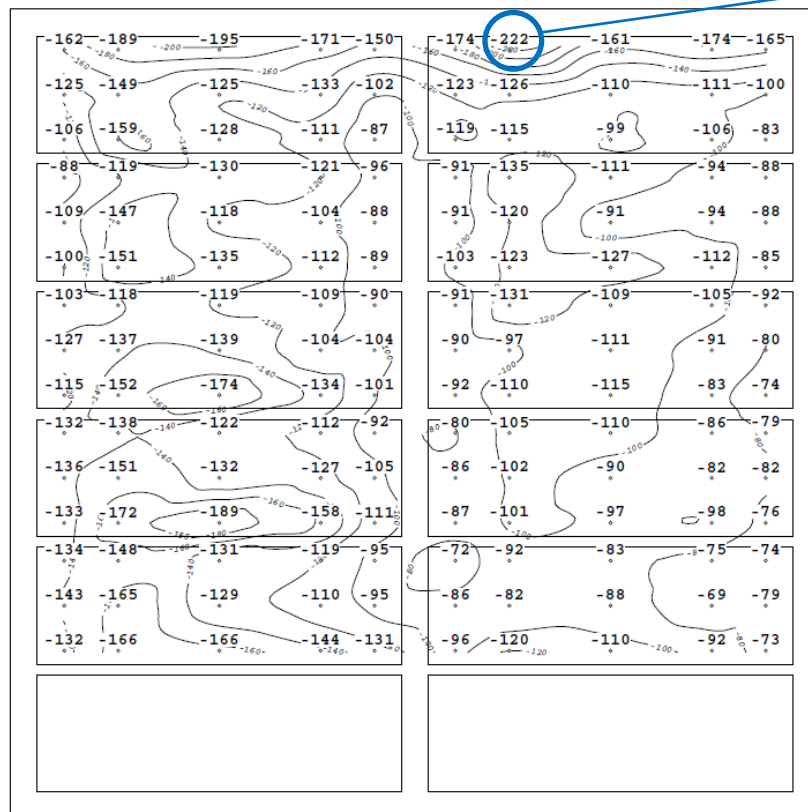
注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向

3.2(60)



(a) 全風向中最大値

-2.2(240)



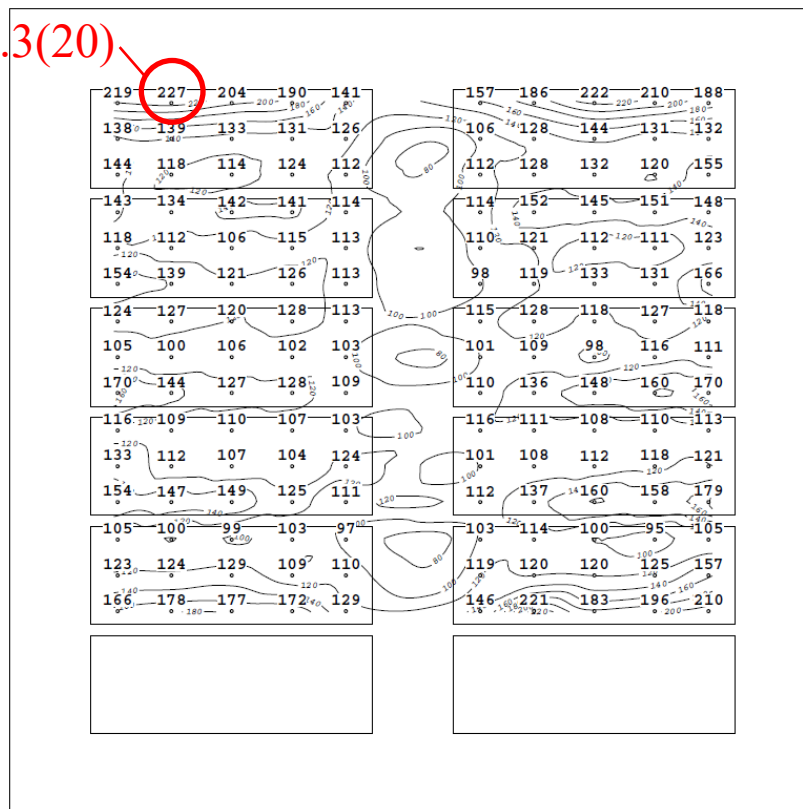
(b) 全風向中最小値

図 7-18 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース r1w、粗度区分Ⅲ）

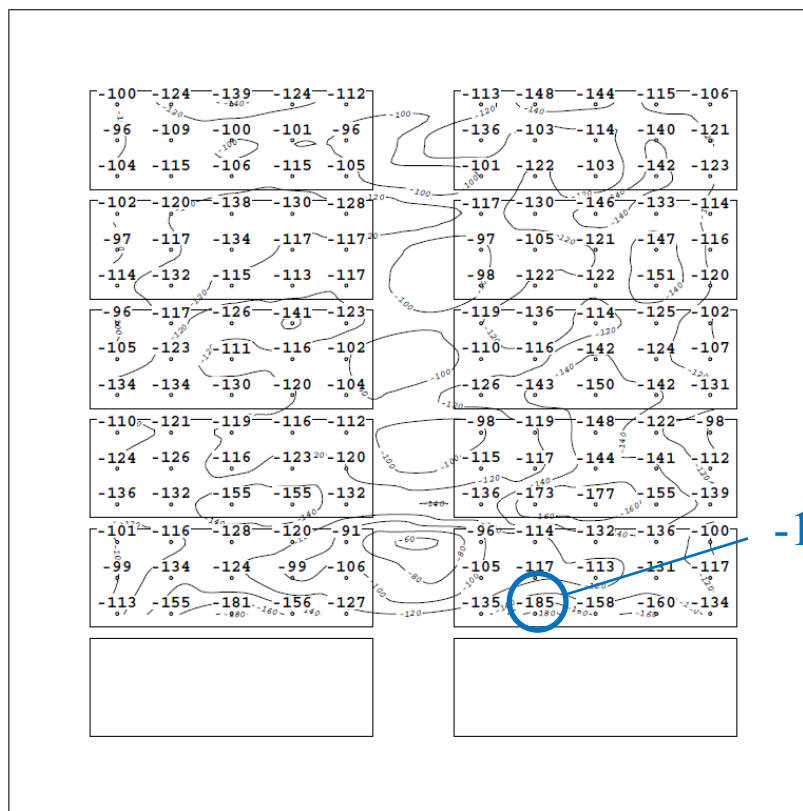


注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向

2.3(20)



(a) 全風向中最大値

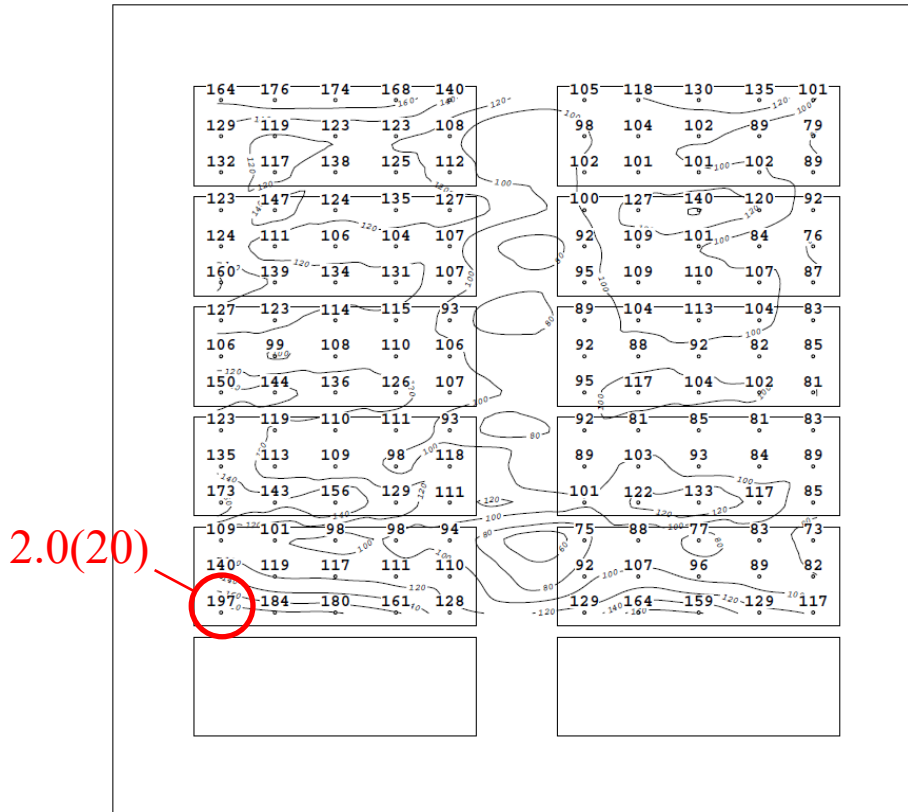


(b) 全風向中最小値

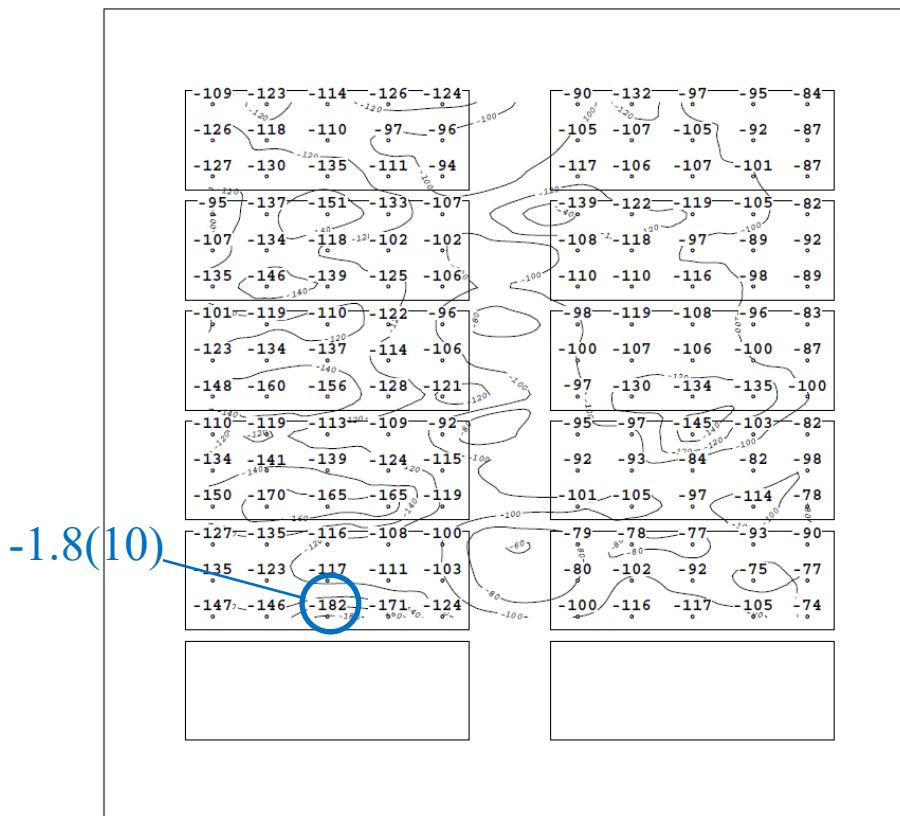
図 7-19 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース s3w、粗度区分Ⅲ）



注：図中の数字はピーク風力係数×100，カッコ内の数値は発生風向



(a) 全風向中最大値



(b) 全風向中最小値

図 7-20 全風向中最大・最小のピーク風力係数（ケース r3w、粗度区分Ⅲ）

7.2 等価風力係数

JIS C 8955:2017「太陽電池アレイ用支持物の設計用風荷重算出方法」には、壁面設置型 PV の風力係数は定められていない。また、建設省告示 1458 号の帳壁のピーク風力係数は、帳壁の裏面が室内であることが前提であるため、本実験の条件のように壁面と PV モジュールの間に隙間があり、PV の裏面にも外圧が作用する場合とは条件が異なる。さらに、壁面設置の場合、壁面に PV 設置用の架台（レール架台など）を設け、その架台にモジュールを 1 枚ずつ固定するような施工方法も考えられることから、本検討ではアレイの寸法を考慮した面積平均値は用いず、点のピーク風力係数について整理する。

まずは、2023 年度に実施したケースについて、表 7-1 に全実験条件中最大および最小のピーク風力係数とピーク風力係数を JIS C 8955 に示されたガスト影響係数（粗度区分Ⅱの場合は 2.07、Ⅲの場合は 2.23）で除した等価風力係数を示す。表 7-1 に示した等価風力係数②は、等価風力係数①において粗度区分ⅡとⅢの値を比較し、絶対値が大きい方の値を示したものである。等価風力係数に換算すると、地表面粗度区分が等価風力係数に与える影響は小さいことから、2024 年度は地表面粗度区分Ⅲのみで実験を行うこととした。ただし、2023 年度の結果については、表 7-1 に示す等価風力係数①の粗度区分Ⅲを用いる。

表 7-1 壁面設置型 PV のピーク風力係数および等価風力係数（2023 年度、離隔距離 2m）

ケース名	建物タイプ	粗度区分	ピーク風力係数		等価風力係数①		等価風力係数②	
			最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値
l2l	①	Ⅱ	2.20	-1.49	1.06	-0.72	1.16	-0.75
l3l	①	Ⅲ	2.58	-1.68	1.16	-0.75		
m2m	②	Ⅱ	2.17	-1.60	1.05	-0.77	1.22	-0.77
m3m	②	Ⅲ	2.73	-1.52	1.22	-0.68		
n2n	④	Ⅱ	2.33	-1.69	1.13	-0.82	1.13	-0.82
n3n	④	Ⅲ	2.37	-1.78	1.06	-0.80		
o2o	③	Ⅱ	2.10	-1.94	1.01	-0.94	1.03	-0.94
o3o	③	Ⅲ	2.30	-1.85	1.03	-0.83		
p2p	③	Ⅱ	2.00	-1.60	0.97	-0.77	0.97	-0.82
p3p	③	Ⅲ	2.13	-1.82	0.96	-0.82		
q2q	⑤	Ⅱ	2.38	-1.80	1.15	-0.87	1.30	-0.87
q3q	⑤	Ⅲ	2.89	-1.93	1.30	-0.87		
r2r	⑤	Ⅱ	2.14	-1.62	1.03	-0.78	1.04	-0.79
r3r	⑤	Ⅲ	2.33	-1.77	1.04	-0.79		

続いて、2024 年度に実施したケースについて、全実験条件中最大および最小のピーク風力係数および等価風力係数を表 7-2 に示す。なお、ピーク風力係数を等価風力係数に換算する際に用いたガスト影響係数は、建物高さが 30m に対して 2.23 である。

表 7-2 壁面設置型 PV のピーク風力係数および等価風力係数
(2024 年度、離隔距離 0m、1m、3m)

ケース名	建物タイプ	離隔距離	粗度区分	ピーク風力係数		等価風力係数	
				最大値	最小値	最大値	最小値
s0w	①	0m	Ⅲ	7.55	-3.27	3.39	-1.47
r0w	②			8.27	-2.47	3.71	-1.11
s1w	①	1m		3.26	-1.73	1.46	-0.78
r1w	②			3.15	-2.22	1.41	-1.00
s3w	①	3m		2.27	-1.85	1.02	-0.83
r3w	②			1.97	-1.82	0.88	-0.82

地表面粗度区分Ⅲにおける壁面設置型 PV のピーク風力係数を図 7-21 に示す。図中には比較のため、告示第 1458 号の帳壁のピーク風力係数を実線で示している。赤実線は建物頂部高さにおける正のピーク風力係数、青実線は端部における負のピーク風力係数である。壁面設置型の PV のピーク風力係数は、アスペクト比 H/\sqrt{BD} による影響はほとんどなく、離隔距離が 0m の場合を除き、概ね、帳壁のピーク風力係数（告示第 1458 号）同程度の値となっている。離隔距離 0m の場合に、正のピーク風力係数が大きくなるのは、太陽電池アレイの外周ラインが建物壁面の外周ライン（屋根面および側面）に近づくことで、太陽電池アレイが風上面となる際、屋根面および側面側に発生する負圧が太陽電池アレイの裏面に影響を与え、表面は正圧、裏面は負圧となるためである。

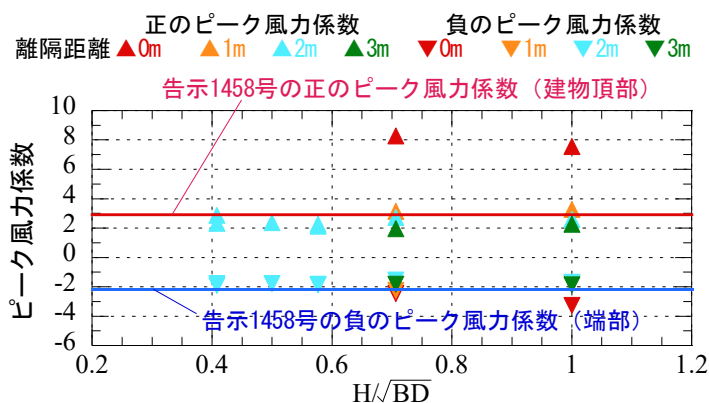


図 7-21 壁面設置型 PV のピーク風力係数（地表面粗度区分Ⅲ）

8. 設計用風力係数の検討

風洞実験で得られた等価風力係数（ピーク風力係数をガスト影響係数で除した値）を整理すると、壁面設置型 PV モジュールの全実験条件中最大および最小の等価風力係数は、アスペクト比の変化による影響が小さく、離隔距離が 0m と 1m 以上で値が変化することが分かった。そこで、壁面設置型 PV モジュールの設計用風力係数を表 8-1 のように設定する。この設計用風力係数は、PV アレイ間（アレイの面方向）に隙間があり、PV アレイと壁面の隙間（アレイの奥行き方向）についても塞いでいない状態を想定しており、この条件が異なると値が大きく変化する可能性がある。太陽電池アレイと壁面との間にある空間を閉鎖空間に近づけることでダブルスキンと似た設置状態となる場合は、設置状態が類似しているダブルスキンの風圧荷重に関する研究事例を参考に太陽電池モジュールの風力係数を設定することも可能である。なお、設計用風力係数と実験で得られた等価風力係数の関係は図 8-1 に示す通りである。

表 8-1 壁面設置型 PV モジュールの設計用風力係数

離隔距離(m)	正	負
0	3.7	-1.5
1～3	1.5	-1.0

ただし、この設計用風力係数の適用範囲は次の通りである。

- ・ 建物の高さ：30m 程度
- ・ アレイの寸法：短辺 4m 程度、長辺 10～30m 程度（モジュール間の隙間なし）
- ・ アレイ面と外壁面との相対角：0°（外壁面と平行）
- ・ アレイと外壁面の隙間：0.3m 程度
- ・ アレイ間の隙間：0.4m 程度
- ・ 離隔距離：0m～3m
- ・ 評価面積：モジュール 1 枚分（2m²）程度

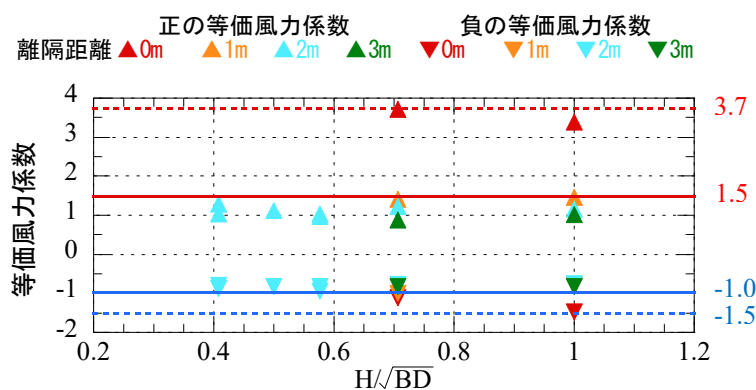
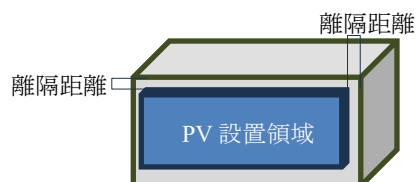
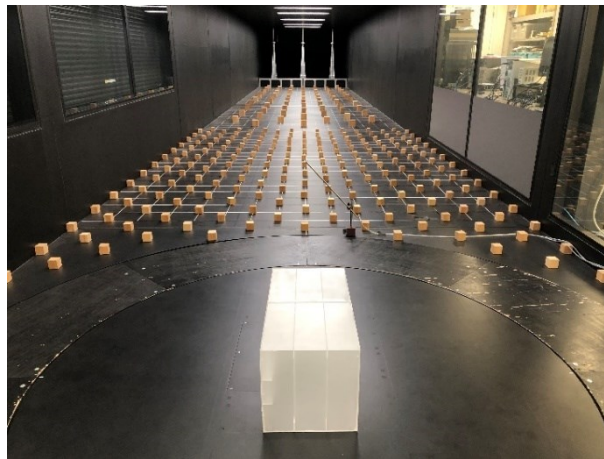


図 8-1 壁面設置型 PV の等価風力係数（実験結果）と設計用風力係数の関係

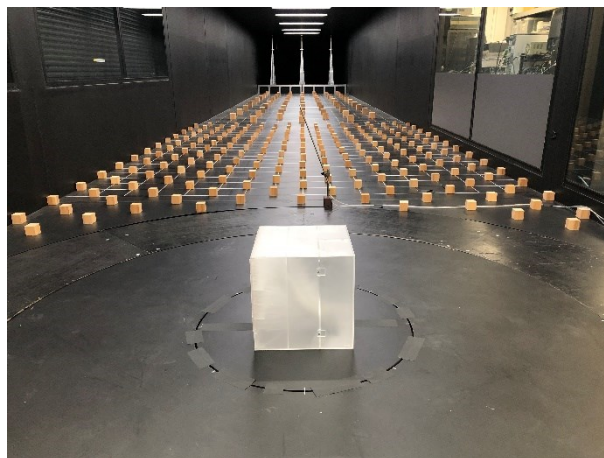
9. 実験写真



(a) ケース o2o、地表面粗度区分Ⅱ (2023 年度)

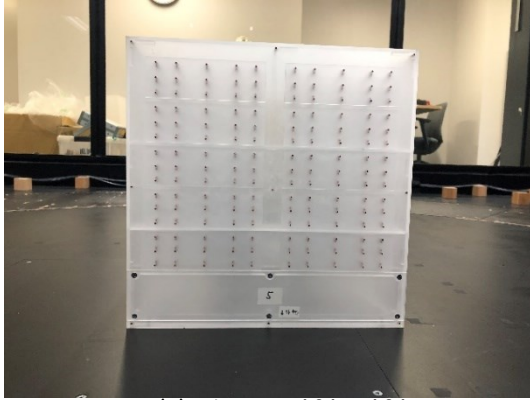


(b) ケース m3m、地表面粗度区分Ⅲ (2023 年度)

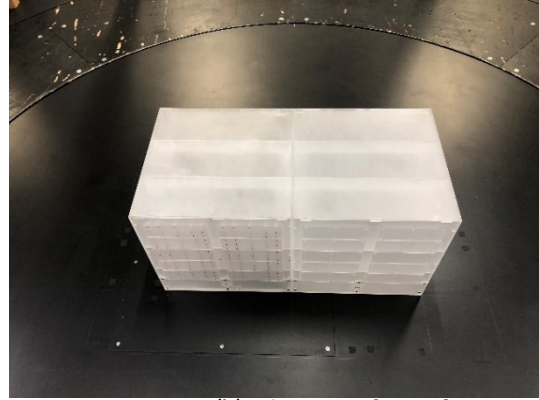


(c) ケース s1w、地表面粗度区分Ⅲ (2024 年度)

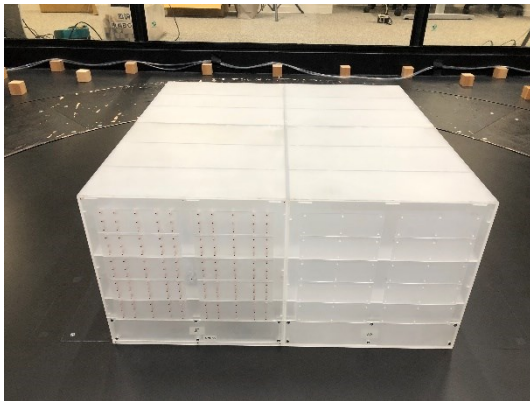
写真 9-1 状況写真 (風洞全体)



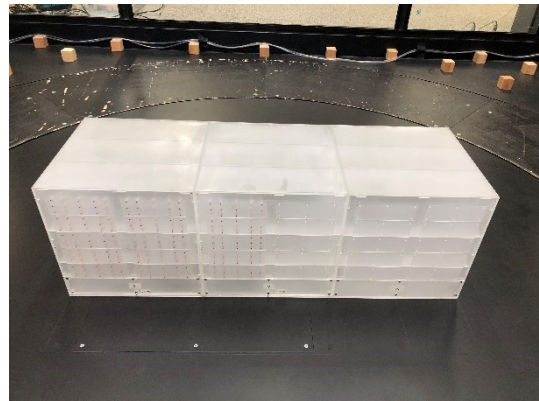
(a) ケース l2l, l3l



(b) ケース m2m, m3m



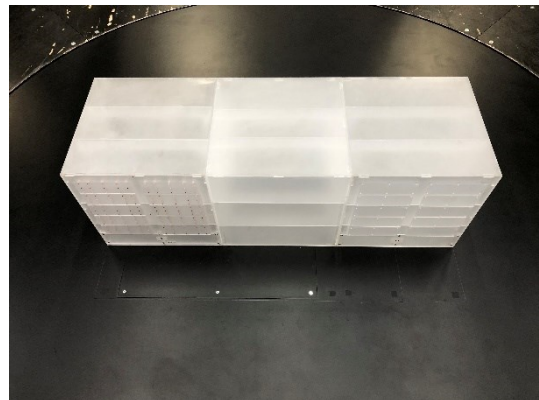
(c) ケース n2n, n3n



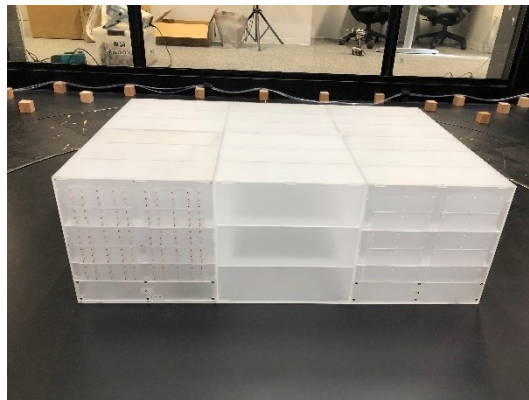
(d) ケース o2o, o3o



(e) ケース p2p, p3p



(f) ケース q2q, q3q

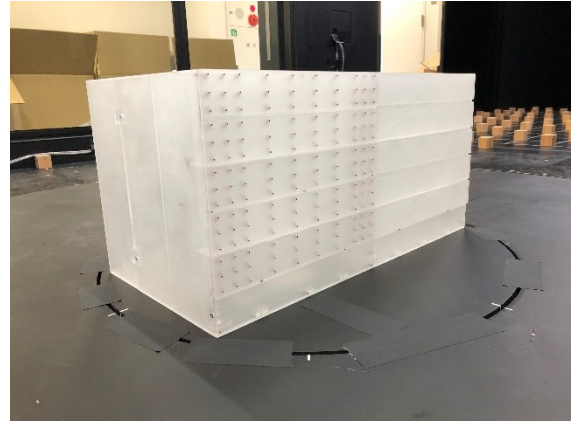


(g) ケース r2r, r3r

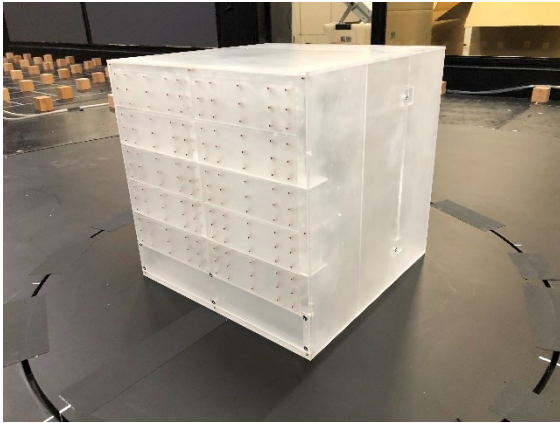
写真 9-2 状況写真 (実験模型, 2023 年度)



(a) ケース s0w



(b) ケース r0w



(c) ケース s1w



(d) ケース r1w



(e) ケース s3w



(f) ケース r3w

写真 9-3 状況写真 (実験模型、2024 年度)

この成果物は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP20015）「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発」の結果として得られたものです。