

土木研究所資料

第1070号

立坑送排縦流換気模型実験

昭和50年8月

建設省土木研究所
道路部トンネル研究室

ま え が き

この報告書は、昭和49年度道路事業調査費による試験調査「トンネルの換気・照明に関する試験調査」で実施した立坑送排縦流換気方式に関する模型実験の結果をとりまとめたものである。

立坑送排縦流換気方式は、通常最も経済的な換気方式である縦流換気を、今まで適用できなかった長大トンネルにも換気区間を区分することにより、適用できるようにすることを目的として検討を加えているものである。この換気方式では汚染空気と新鮮空気を出し入れする立坑底部において、送気口と排気口の間で障害となるような通り抜けあるいは短絡流が生じないようにすることが最も重要である。

本実験はこの送排気口間の流れを明らかにするために行なったもので、実験の結果この流れは運動量式を基本とする式で記述することができることが確められた。

この換気方式を実用化するためには検討すべき問題が多く残されているが、本実験により最も基本的な流れの状態を把握することができるようになり、実用化へ大きく近づいたといえることができる。

今後は残された問題を早急に解決し、経済的なトンネルの建設に資する所存である。

トンネル研究室

室 長 今 田 徹

研究員 水 谷 敏 則

堀 内 浩三郎

目 次

1. 概 要	1
2. 実験方法	1
3. 実験条件	5
4. 実験結果	5
4.1. ピトートラバース	5
4.2. 立坑送排実験	5
5. 実験結果の考察	5
5.1. 送気（噴流機構）による圧力上昇	5
5.2. 排気による車道部の圧力上昇	24
5.3. 通り抜け，短絡風量	26
6. ま と め	31

記 号

- V_0 : 送気口からの吹き出し風速
- V_4 : 排気口における排気風速
- V_1 : 車道部Ⅰの風速（送排気口間の風速，通り抜けの場合が正）
- V_2 : 車道部Ⅱ（出口側車道）の風速
- V_3 : 車道部Ⅲ（入口側車道）の風速
- Q_0 : 送気風量
- Q_4 : 排気風量
- Q_1 : 車道部Ⅰの風量
- Q_2 : 車道部Ⅱの風量
- Q_3 : 車道部Ⅲの風量
- P_e : トンネル入口直後の静圧
- P_3 : 排気口直前の車道静圧
- P_{1e} : 排気口直後の車道静圧
- P_{1b} : 送気口直前の車道静圧
- P_2 : 送気口後部の車道静圧
- P_0 : トンネル出口直前の車道静圧
- A_0 : 送気口の断面積（吹き出し角度に直角方向の断面積）
- A_4 : 排気口の断面積
- A_1 : 車道の断面積
- θ_0 : 吹き出し角度
- $\mathcal{J}_e$: 入口損失係数
- $\mathcal{J}_o$: 出口損失係数
- λ_e : 車道部Ⅲ摩擦損失係数
- λ_o : 車道部Ⅱ摩擦損失係数
- l_i : 車道部Ⅲの長さ
- l_o : 車道部Ⅱの長さ
- d_i : 車道部Ⅲの代表寸法
- d_o : 車道部Ⅱの代表寸法
- ρ : 空気の密度
- k_b : 送気噴流の運動量の効率を示す係数
- k_e : 排気の運動量の持ち出しの程度を示す係数

1. 概 要

換気は道路トンネルの計画、設計、維持管理の各段階において極めて重要な要素であるが、最近の道路トンネルの長大化に伴って換気設備の規模が大きくなり、建設費および維持管理費に多額の費用を要するようになってきている。このため換気の経済化は長大トンネルの建設において重要な問題となってきた。

最も経済的な換気方式は特別のダクト設備の不要な縦流式換気であるが、この方式は車道内風速に限界があるため適用できる延長に限りがあり、長大なトンネルにおいては用いることはできない。しかし、長大なトンネルにおいても立坑等によって換気区間を分割し、立坑底において汚染された空気と新鮮空気を入れ換えることができれば、横流式と同様にトンネル延長に関係なく縦流式換気を適用することができる。

立坑底における短区間で汚染空気と新鮮空気の入れ換えを行なうためには、送排気口間において短絡あるいは通り抜けにより換気に支障を与えないようにすることが必要である。短絡、通り抜けを制御する方法としては、送気側に噴流式昇圧機構（サッカルド換気）を設け、これにより生ずる圧力差を利用することが考えられる。

本実験は、立坑送排縦流換気の立坑底部における短絡、通り抜けを制御するため送気側に噴流式圧力上昇機構を用いた場合の立坑底部における空気の流れを明らかにするために行なったものである。

2. 実 験 方 法

実験は縮尺約1/10の換気模型実験装置の中央部を改造し立坑送排部（送気部および排気部）を設けて行なった。実験装置の概要は図-1に示す通りで、車道部Ⅲ（入口側）、立坑送排部、車道部Ⅱ（出口側）および送排風装置より構成される。実験装置各部の諸元は表-1に示すとおりである。

送気部の詳細は図-2に示すように、吹き出し角度を 15° とし、吹き出し断面積は車道断面積の約 $1/2$ とした。排気部の詳細は図-3に示す通りであり、天井部より排気する方式とし、排気口の断面積は車道断面積の約1.0倍および2.0倍となるようにした。これ等立坑送排部の構造詳細および断面積比等は実際のトンネルに使用される構造とは若干異なるものとなっているが、これは

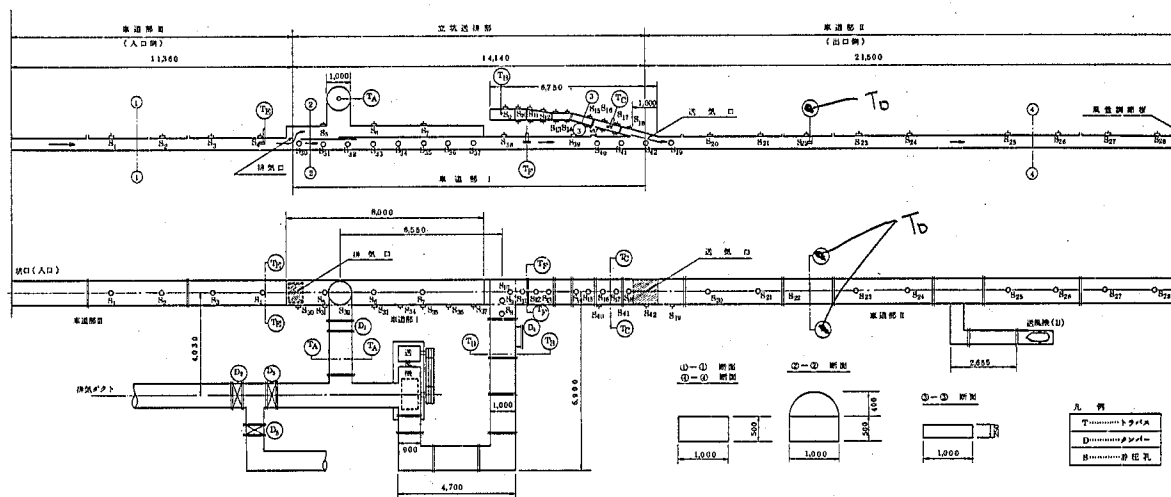


図 - 1 実験装置一般用

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100. 101. 102. 103. 104. 105. 106. 107. 108. 109. 110. 111. 112. 113. 114. 115. 116. 117. 118. 119. 120. 121. 122. 123. 124. 125. 126. 127. 128. 129. 130. 131. 132. 133. 134. 135. 136. 137. 138. 139. 140. 141. 142. 143. 144. 145. 146. 147. 148. 149. 150. 151. 152. 153. 154. 155. 156. 157. 158. 159. 160. 161. 162. 163. 164. 165. 166. 167. 168. 169. 170. 171. 172. 173. 174. 175. 176. 177. 178. 179. 180. 181. 182. 183. 184. 185. 186. 187. 188. 189. 190. 191. 192. 193. 194. 195. 196. 197. 198. 199. 200. 201. 202. 203. 204. 205. 206. 207. 208. 209. 210. 211. 212. 213. 214. 215. 216. 217. 218. 219. 220. 221. 222. 223. 224. 225. 226. 227. 228. 229. 230. 231. 232. 233. 234. 235. 236. 237. 238. 239. 240. 241. 242. 243. 244. 245. 246. 247. 248. 249. 250. 251. 252. 253. 254. 255. 256. 257. 258. 259. 260. 261. 262. 263. 264. 265. 266. 267. 268. 269. 270. 271. 272. 273. 274. 275. 276. 277. 278. 279. 280. 281. 282. 283. 284. 285. 286. 287. 288. 289. 290. 291. 292. 293. 294. 295. 296. 297. 298. 299. 300. 301. 302. 303. 304. 305. 306. 307. 308. 309. 310. 311. 312. 313. 314. 315. 316. 317. 318. 319. 320. 321. 322. 323. 324. 325. 326. 327. 328. 329. 330. 331. 332. 333. 334. 335. 336. 337. 338. 339. 340. 341. 342. 343. 344. 345. 346. 347. 348. 349. 350. 351. 352. 353. 354. 355. 356. 357. 358. 359. 360. 361. 362. 363. 364. 365. 366. 367. 368. 369. 370. 371. 372. 373. 374. 375. 376. 377. 378. 379. 380. 381. 382. 383. 384. 385. 386. 387. 388. 389. 390. 391. 392. 393. 394. 395. 396. 397. 398. 399. 400. 401. 402. 403. 404. 405. 406. 407. 408. 409. 410. 411. 412. 413. 414. 415. 416. 417. 418. 419. 420. 421. 422. 423. 424. 425. 426. 427. 428. 429. 430. 431. 432. 433. 434. 435. 436. 437. 438. 439. 440. 441. 442. 443. 444. 445. 446. 447. 448. 449. 450. 451. 452. 453. 454. 455. 456. 457. 458. 459. 460. 461. 462. 463. 464. 465. 466. 467. 468. 469. 470. 471. 472. 473. 474. 475. 476. 477. 478. 479. 480. 481. 482. 483. 484. 485. 486. 487. 488. 489. 490. 491. 492. 493. 494. 495. 496. 497. 498. 499. 500. 501. 502. 503. 504. 505. 506. 507. 508. 509. 510. 511. 512. 513. 514. 515. 516. 517. 518. 519. 520. 521. 522. 523. 524. 525. 526. 527. 528. 529. 530. 531. 532. 533. 534. 535. 536. 537. 538. 539. 540. 541. 542. 543. 544. 545. 546. 547. 548. 549. 550. 551. 552. 553. 554. 555. 556. 557. 558. 559. 560. 561. 562. 563. 564. 565. 566. 567. 568. 569. 570. 571. 572. 573. 574. 575. 576. 577. 578. 579. 580. 581. 582. 583. 584. 585. 586. 587. 588. 589. 590. 591. 592. 593. 594. 595. 596. 597. 598. 599. 600. 601. 602. 603. 604. 605. 606. 607. 608. 609. 610. 611. 612. 613. 614. 615. 616. 617. 618. 619. 620. 621. 622. 623. 624. 625. 626. 627. 628. 629. 630. 631. 632. 633. 634. 635. 636. 637. 638. 639. 640. 641. 642. 643. 644. 645. 646. 647. 648. 649. 650. 651. 652. 653. 654. 655. 656. 657. 658. 659. 660. 661. 662. 663. 664. 665. 666. 667. 668. 669. 670. 671. 672. 673. 674. 675. 676. 677. 678. 679. 680. 681. 682. 683. 684. 685. 686. 687. 688. 689. 690. 691. 692. 693. 694. 695. 696. 697. 698. 699. 700. 701. 702. 703. 704. 705. 706. 707. 708. 709. 710. 711. 712. 713. 714. 715. 716. 717. 718. 719. 720. 721. 722. 723. 724. 725. 726. 727. 728. 729. 730. 731. 732. 733. 734. 735. 736. 737. 738. 739. 740. 741. 742. 743. 744. 745. 746. 747. 748. 749. 750. 751. 752. 753. 754. 755. 756. 757. 758. 759. 760. 761. 762. 763. 764. 765. 766. 767. 768. 769. 770. 771. 772. 773. 774. 775. 776. 777. 778. 779. 780. 781. 782. 783. 784. 785. 786. 787. 788. 789. 790. 791. 792. 793. 794. 795. 796. 797. 798. 799. 800. 801. 802. 803. 804. 805. 806. 807. 808. 809. 810. 811. 812. 813. 814. 815. 816. 817. 818. 819. 820. 821. 822. 823. 824. 825. 826. 827. 828. 829. 830. 831. 832. 833. 834. 835. 836. 837. 838. 839. 840. 84

| 項 目 | 寸 法 | 記 事 |
|---|--|---|
| 車 道 断面寸法 (巾×高さ)
断 面 積 m^2
代表寸法 m | 0.9936 × 0.4968
0.4936
0.6624 | 車道部ⅠⅡⅢ共通
風量測定断面D, E, F
A ₁ , A ₂ , A ₃ |
| 送気ノズル取付角
断 面 寸 法
断 面 積
代 表 寸 法 | 15°
0.9936 × 0.2436
0.2420
0.3913 | 風量測定断面C
A ₀ |
| 送気ダクト
断 面 寸 法
断 面 積
代 表 寸 法 | 0.9936 × 0.3686
0.3662
0.5477 | 風量測定断面B |
| 排気ノズル取付角
断 面 寸 法
断 面 積
代 表 寸 法 | 90°
0.8 × $\frac{0.617}{(1.234)}$
0.4936 ~ 0.9872
0.6967 ~ 0.9707 | スライド板により開口面積調整A ₄ |
| 車道部延長全長
内訳 { 入口～排気ノズル間
排気ノズル～送気ノズル間
送気ノズル～吐出端間 | 47m
1136 , (1167)
1414 , (1383)
215m | ()内は、開口比2.0の場合の値である。 |

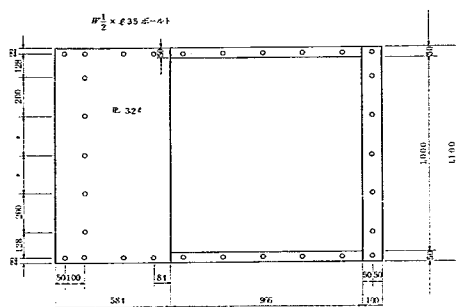
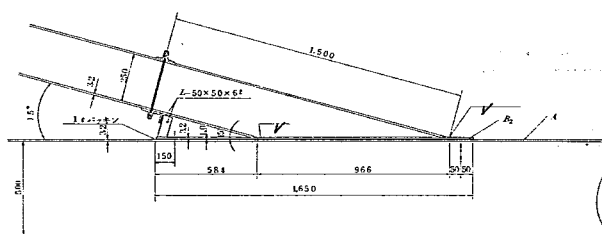


図-2 送気部詳細図

実験装置の都合ならびに実験の目的を流れの基本的挙動の把握に置いたためである。

送排気は図-4に示す遠心式送風機1台を排気口、送気口間に挿入して行なった。風量調整にはダンパーD₁を用いた。送風量と排風量の比を変える場合には、ダンパーD₃、D₅およびダンパーD₄を適宜開閉した。すなわち、送風量を排風量より大きくする場合にはダンパーD₅、D₃を開き排気口以外空気を取り入れ、また、送風量を排風量より少なくする場合はダンパーD₄を開いて送風量の一部を送気口以外で排出した。

送排気口間の風量、すなわち、短絡通り抜け風量は送気口および排気口に接続する車道部の圧力差による影響を受けるが、この圧力差を変えるため、トンネル出口部に風量調節板を設けた。

本実験における測定項目は各部の風量、静圧である。風量は断面-T_B、T_C、T_D、T_E、T_Fに基準風速計を設けて測定を行なった。基準風速計としては断面-Fを除いてピトー管を用いた。断面-Fの風速は小さいので熱線風速計を用いた。基準風速計と風量の関係はあらかじめピトートラバースを行ない求めた。実験装置各部の静圧は多管傾斜マノメータにより測定した。測定点の番号を図-1に示す。

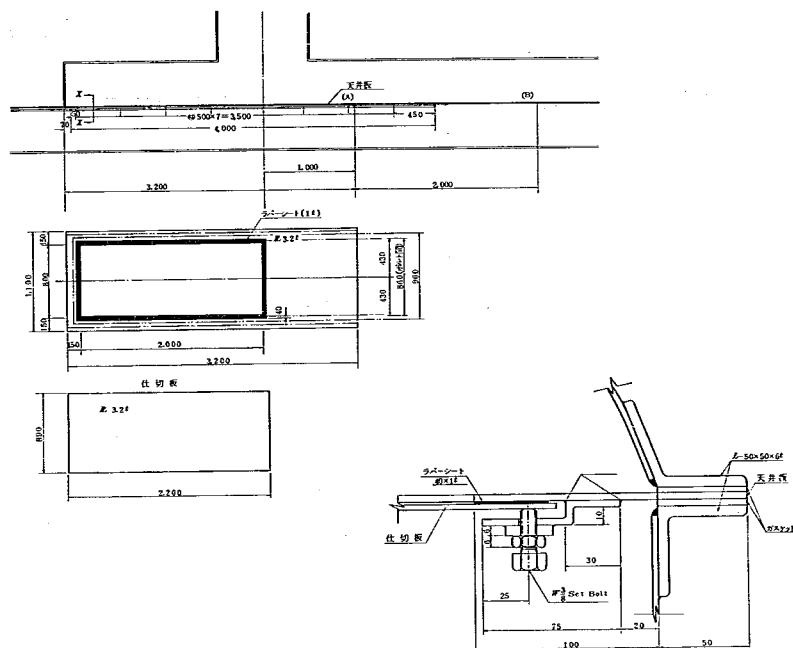


図-3 排気部詳細図

3. 実験条件

実験条件は表-2に示すとおりで、排気口断面積 A_4 と車道断面積 A_1 の比($A_4/A_1 = 1.0, 2.0$)、入口側車道部風量 Q_3 と出口側車道部の風量 Q_2 との比($Q_2/Q_3 = 0.75, 1.0, 2.0$)、トンネル出口部風量調節板開度($A_p/A_1 = 5/5, 4.5/5, 4/5$)をパラメータとし、それぞれに対して風量を4~6段に変化させた。車道部におけるレイノルズ数の範囲は 1.08×10^6 至 1.79×10^5 である。

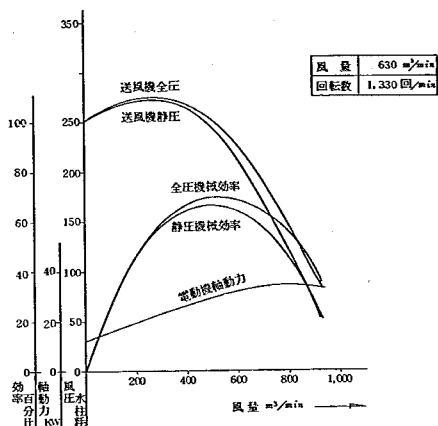


図-4 送風機性能曲線

4. 実験結果

4.1 ピトートラバース

基準風速計と風量との関係を求めるために行なったピトートラバースの結果を表-3および図-5に示す。風量の測定は流れが様な断面で実施すべきであるが実験装置の関係からこれができず風量測定の精度は必ずしも十分なものとなっていない。特に排気風量については直接測定することが困難であった。以下の実験データの整理にあたっては図-5を用いて平均風速を求めている。

4.2 立坑送排気実験

測定の結果を表-4および図-6に示す。送排気部前後の静圧分布を比較的明確に測定することができ、排気に伴う車道静圧の変動、送気による圧力上昇が良くあらわれている。送排気口間の流れは、出口部風量調節板の開度が5/5の時通り抜けとなり、開度4.5/5, 4/5の場合は短絡で、短絡、通り抜けの両状態で実験が行なわれている。入口側車道部風量 Q_3 と排気風量 Q_4 との比 Q_4/Q_3 の範囲は0.7~1.2で、出口側車道部風量 Q_2 と送気風量 Q_0 との比 Q_0/Q_2 の範囲は0.85~1.18となっている。風量の流量収支は必ずしも十分でないが、この程度の誤差は実験装置の関係からやむを得ない。

5. 実験結果の考察

5.1 送気(噴流機構)による圧力上昇

実験の立坑送排換気におけるトンネル内の静圧分布は図-6に示したとおりであるが、これを模式的に書くと図-7のようになる。

噴流装置による圧力上昇は $P_2 - P_{1b}$ であるが、実験の結果では噴流の混合区間内では静圧が乱

表-2 実験条件

| 実験番号 | 排気口断面積
車道断面積
= A_4/A_1 | 車道部Ⅱ風量
車道部Ⅲ風量
= Q_2/Q_3 | 出口部風量
調節板開度 | ダンパ
I開度 | 実験番号 | 排気口断面積
車道断面積
= A_4/A_1 | 車道部Ⅱ風量
車道部Ⅲ風量
= Q_2/Q_3 | 出口部風量
調節板開度 | ダンパ
I開度 |
|-------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|------------|-------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|------------|
| 1-1-1 | 1.0 | 1.0 | 4/5 | 5 | 2-1-1 | 2.0 | 1.0 | 4/5 | 5 |
| 1-1-2 | " | " | " | 10 | 2-1-2 | " | " | " | 10 |
| 1-1-3 | " | " | " | 15 | 2-1-3 | " | " | " | 15 |
| 1-1-4 | " | " | " | 30 | 2-1-4 | " | " | " | 30 |
| 1-1-5 | " | " | " | 45 | 2-1-5 | " | " | " | 45 |
| 1-1-6 | " | " | " | 60 | 2-1-6 | " | " | " | 60 |
| 1-2-1 | " | " | 4.5/5 | 5 | 2-2-1 | " | " | 4.5/5 | 5 |
| 1-2-2 | " | " | " | 10 | 2-2-2 | " | " | " | 10 |
| 1-2-3 | " | " | " | 15 | 2-2-3 | " | " | " | 15 |
| 1-2-4 | " | " | " | 30 | 2-2-4 | " | " | " | 30 |
| 1-2-5 | " | " | " | 45 | 2-2-5 | " | " | " | 45 |
| 1-2-6 | " | " | " | 60 | 2-2-6 | " | " | " | 60 |
| 1-3-1 | " | " | 5/5 | 5 | 2-3-1 | " | " | 5/5 | 5 |
| 1-3-2 | " | " | " | 10 | 2-3-2 | " | " | " | 10 |
| 1-3-3 | " | " | " | 15 | 2-3-3 | " | " | " | 15 |
| 1-3-4 | " | " | " | 30 | 2-3-4 | " | " | " | 30 |
| 1-3-5 | " | " | " | 45 | 2-3-5 | " | " | " | 45 |
| 1-3-6 | " | " | " | 60 | 2-3-6 | " | " | " | 60 |
| 1-4-1 | " | 2.0 | 4/5 | 5 ○ | 2-4-1 | " | 2.0 | 4/5 | 5 ○ |
| 1-4-2 | " | " | " | 10 ○ | 2-4-2 | " | " | " | 10 ○ |
| 1-4-3 | " | " | " | 15 ○ | 2-4-3 | " | " | " | 15 ○ |
| 1-4-4 | " | " | " | 30 ○ | 2-4-4 | " | " | " | 30 ○ |
| 1-5-1 | " | " | 4.5/5 | 5 ○ | 2-5-1 | " | " | 4.5/5 | 5 ○ |
| 1-5-2 | " | " | " | 10 ○ | 2-5-2 | " | " | " | 10 ○ |
| 1-5-3 | " | " | " | 15 ○ | 2-5-3 | " | " | " | 15 ○ |
| 1-5-4 | " | " | " | 30 ○ | 2-5-4 | " | " | " | 30 ○ |
| 1-6-1 | " | " | 5/5 | 5 ○ | 2-6-1 | " | " | 5/5 | 5 ○ |
| 1-6-2 | " | " | " | 10 ○ | 2-6-2 | " | " | " | 10 ○ |
| 1-6-3 | " | " | " | 15 ○ | 2-6-3 | " | " | " | 15 ○ |
| 1-6-4 | " | " | " | 30 ○ | 2-6-4 | " | " | " | 30 ○ |
| 1-7-1 | " | 0.75 | " | 5 × | 2-7-1 | " | 0.75 | " | 5 × |
| 1-7-2 | " | " | " | 10 × | 2-7-2 | " | " | " | 10 × |
| 1-7-3 | " | " | " | 15 × | 2-7-3 | " | " | " | 15 × |
| 1-7-4 | " | " | " | 30 × | 2-7-4 | " | " | " | 30 × |
| 1-7-5 | " | " | " | 45 × | 2-7-5 | " | " | " | 45 × |
| 1-7-6 | " | " | " | 60 × | 2-7-6 | " | " | " | 60 × |

 Q_2/Q_3 の値は目標値

注) ○印はダンパVを併用

×印はダンパVを全開

送気ダクト部

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1° | 2° | 3° | 4° | 5° |
| 6° | 7° | 8° | 9° | 10° |
| 11° | 12° | 13° | 14° | 15° |

1,000

375

送気ノズル部

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1° | 2° | 3° | 4° | 5° |
| 6° | 7° | 8° | 9° | 10° |
| 11° | 12° | 13° | 14° | 15° |

1,000

250

出口側車道部

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1° | 2° | 3° | 4° | 5° |
| 6° | 7° | 8° | 9° | 10° |
| 11° | 12° | 13° | 14° | 15° |

1,000

500

入口側車道部

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1° | 2° | 3° | 4° | 5° |
| 6° | 7° | 8° | 9° | 10° |
| 11° | 12° | 13° | 14° | 15° |

1,000

測点位置

量

順階段
測点番号

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----|
| 1 | 7.20 | 10.76 | 12.31 | 16.89 | 21.46 | 10.40 | 13.77 | 18.89 | 28.57 | 32.77 | 34.20 | 3.80 | 6.88 | 11.47 | 15.36 | 15.74 | 21.84 | 3.71 | 9.28 | 15.28 | 17 |
| 2 | 7.77 | 9.60 | 12.47 | 17.54 | 22.09 | 10.01 | 13.22 | 19.03 | 26.61 | 31.74 | 31.66 | 3.71 | 6.97 | 11.38 | 15.19 | 17.97 | 22.40 | 3.80 | 9.73 | 16.16 | 18 |
| 3 | 7.33 | 10.00 | 12.04 | 17.35 | 22.48 | 8.12 | 8.65 | 12.56 | 16.30 | 22.34 | 22.51 | 3.43 | 6.68 | 10.20 | 15.19 | 15.74 | 21.56 | 3.44 | 9.03 | 13.48 | 17 |
| 4 | 8.02 | 10.88 | 13.39 | 18.13 | 23.20 | 10.19 | 13.64 | 19.86 | 28.92 | 32.32 | 35.76 | 3.53 | 7.16 | 11.18 | 14.66 | 16.32 | 19.14 | 3.44 | 8.95 | 13.08 | 16 |
| 5 | 8.49 | 11.41 | 14.47 | 18.49 | 24.45 | 10.07 | 13.22 | 19.77 | 28.30 | 32.76 | 35.41 | 3.43 | 6.78 | 11.06 | 13.78 | 16.03 | 19.91 | 3.44 | 8.34 | 12.03 | 15 |
| 6 | 7.68 | 10.82 | 12.47 | 17.50 | 21.82 | 10.37 | 13.82 | 18.86 | 29.92 | 33.55 | 36.39 | 3.80 | 7.47 | 12.09 | 16.36 | 16.95 | 22.08 | 3.89 | 9.21 | 14.98 | 17 |
| 7 | 8.02 | 10.32 | 12.68 | 18.02 | 22.80 | 10.22 | 13.64 | 20.33 | 27.17 | 32.90 | 33.45 | 3.80 | 7.43 | 11.59 | 16.52 | 18.34 | 23.21 | 3.97 | 9.79 | 15.50 | 18 |
| 8 | 7.77 | 10.70 | 12.63 | 17.88 | 23.79 | 10.16 | 13.59 | 19.19 | 29.56 | 32.82 | 36.15 | 3.80 | 7.16 | 11.18 | 15.83 | 18.48 | 22.95 | 3.53 | 9.56 | 14.47 | 18 |
| 9 | 8.34 | 10.88 | 13.78 | 18.28 | 24.40 | 10.37 | 13.68 | 19.54 | 29.25 | 31.54 | 36.96 | 3.71 | 7.60 | 11.75 | 15.75 | 18.41 | 23.21 | 3.80 | 9.56 | 13.31 | 17 |
| 10 | 8.80 | 11.47 | 14.66 | 18.10 | 24.45 | 10.22 | 13.45 | 19.89 | 28.72 | 31.58 | 33.02 | 3.45 | 7.43 | 12.03 | 15.41 | 17.97 | 21.35 | 3.53 | 8.65 | 13.45 | 16 |
| 11 | 8.10 | 11.18 | 12.89 | 17.84 | 22.15 | 10.04 | 13.36 | 17.34 | 27.18 | 32.09 | 32.47 | 3.88 | 7.47 | 12.30 | 16.04 | 16.24 | 20.58 | 3.80 | 9.03 | 14.14 | 16 |
| 12 | 8.02 | 10.82 | 12.89 | 18.17 | 23.20 | 10.22 | 12.59 | 20.45 | 27.70 | 32.18 | 34.17 | 3.80 | 7.69 | 11.70 | 15.66 | 17.68 | 22.28 | 3.80 | 8.77 | 12.88 | 16 |
| 13 | 8.18 | 11.41 | 13.04 | 18.10 | 23.93 | 9.59 | 12.91 | 19.38 | 27.93 | 31.74 | 34.34 | 3.80 | 7.43 | 12.09 | 15.99 | 18.88 | 22.46 | 3.44 | 9.17 | 13.72 | 17 |
| 14 | 8.34 | 10.88 | 13.89 | 18.53 | 24.40 | 9.66 | 13.50 | 19.58 | 28.29 | 31.74 | 36.01 | 3.80 | 7.69 | 11.92 | 16.08 | 18.12 | 22.95 | 3.53 | 9.10 | 12.59 | 16 |
| 15 | 8.65 | 11.47 | 14.52 | 18.31 | 24.34 | 9.33 | 12.44 | 17.77 | 27.23 | 28.15 | 31.24 | 3.45 | 7.60 | 11.81 | 15.49 | 18.30 | 20.97 | 3.14 | 8.62 | 12.67 | 15 |
| ①平均 | 8.05 | 10.84 | 13.21 | 17.94 | 23.26 | 9.93 | 13.03 | 18.83 | 27.44 | 31.35 | 33.58 | 3.68 | 7.30 | 11.58 | 15.55 | 17.41 | 21.79 | 3.62 | 9.12 | 13.85 | 17 |
| ②基準ヒート管風速 | 8.14 | 11.44 | 13.92 | 18.02 | 24.21 | 8.00 | 10.48 | 15.51 | 23.14 | 25.39 | 27.89 | 3.80 | 7.52 | 11.67 | 15.99 | 18.73 | 23.18 | 3.89 | 8.95 | 13.81 | 17 |
| ①/② | 0.989 | 0.948 | 0.949 | 0.996 | 0.961 | 1.174 | 1.243 | 1.214 | 1.186 | 1.235 | 1.204 | 0.968 | 0.971 | 0.992 | 0.972 | 0.930 | 0.940 | 0.931 | 1.019 | 1.002 | 1.0 |
| | $m=0.969 \quad \sigma=0.023$ | | | | | $m=1.209 \quad \sigma=0.027$ | | | | | | $m=0.962 \quad \sigma=0.023$ | | | | | | $m=0.990 \quad \sigma$ | | | |

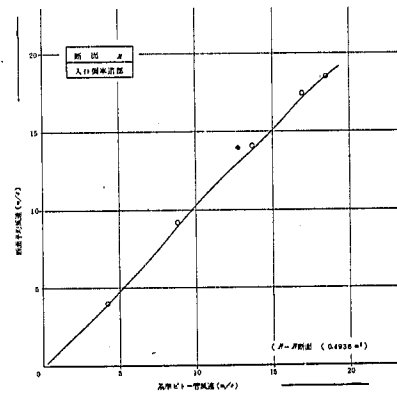
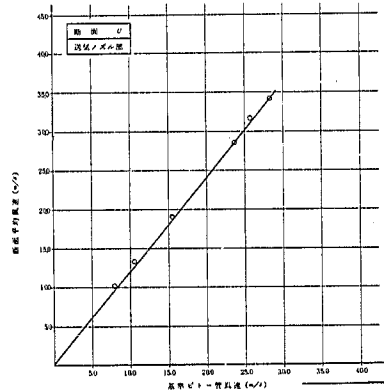
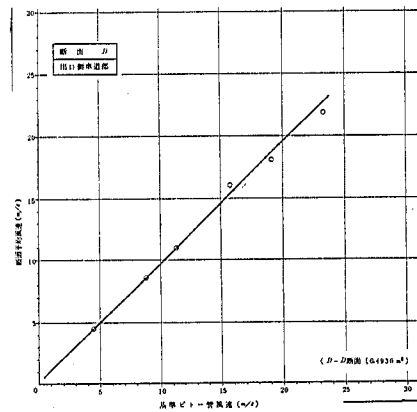
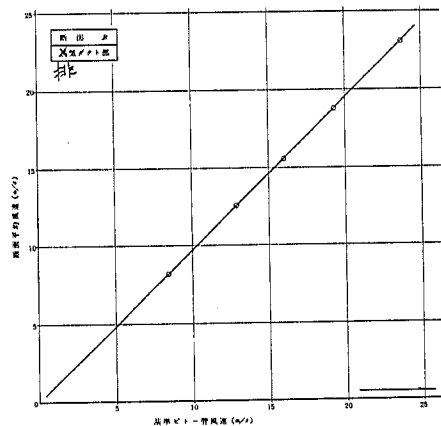


図-5 基準ビーター管風速計と断面平均風速の関係

表 - 4 - (I) 实验结果总结表 (I)

| 実験
番号 | 風 速 m/S | | | | | 風 量 m ³ /S | | | | | 静 | | | | | | | | | 圧 | | | | | | | | | | | | | | | | | | mm a q | | |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|
| | T _B | T _C | T _D | T _E | T _F | Q _B | Q _C | Q _D | Q _E | Q _F | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ | S ₆ | S ₇ | S ₈ | S ₉ | S ₁₀ | S ₁₁ | S ₁₂ | S ₁₃ | S ₁₄ | S ₁₅ | S ₁₆ | S ₁₇ | S ₁₈ | S ₁₉ | S ₂₀ | S ₂₁ | S ₂₂ | S ₂₃ | S ₂₄ | S ₂₅ | S ₂₆ | S ₂₇ | S ₂₈ | S ₂₉ | S ₃₀ | S ₃₁ | S ₃₂ | S ₃₃ | S ₃₄ | S ₃₅ | S ₃₆ | S ₃₇ | S ₃₈ | S ₃₉ | S ₄₀ | S ₄₁ | S ₄₂ | S ₄₃ | S ₄₄ | S ₄₅ | S ₄₆ | S ₄₇ | S ₄₈ | S ₄₉ | S ₅₀ | S ₅₁ | S ₅₂ | S ₅₃ | S ₅₄ | S ₅₅ | S ₅₆ | S ₅₇ | S ₅₈ | S ₅₉ | S ₆₀ | S ₆₁ | S ₆₂ | S ₆₃ | S ₆₄ | S ₆₅ | S ₆₆ | S ₆₇ | S ₆₈ | S ₆₉ | S ₇₀ | S ₇₁ | S ₇₂ | S ₇₃ | S ₇₄ | S ₇₅ | S ₇₆ | S ₇₇ | S ₇₈ | S ₇₉ | S ₈₀ | S ₈₁ | S ₈₂ | S ₈₃ | S ₈₄ | S ₈₅ | S ₈₆ | S ₈₇ | S ₈₈ | S ₈₉ | S ₉₀ | S ₉₁ | S ₉₂ | S ₉₃ | S ₉₄ | S ₉₅ | S ₉₆ | S ₉₇ | S ₉₈ | S ₉₉ | S ₁₀₀ | S ₁₀₁ | S ₁₀₂ | S ₁₀₃ | S ₁₀₄ | S ₁₀₅ | S ₁₀₆ | S ₁₀₇ | S ₁₀₈ | S ₁₀₉ | S ₁₁₀ | S ₁₁₁ | S ₁₁₂ | S ₁₁₃ | S ₁₁₄ | S ₁₁₅ | S ₁₁₆ | S ₁₁₇ | S ₁₁₈ | S ₁₁₉ | S ₁₂₀ | S ₁₂₁ | S ₁₂₂ | S ₁₂₃ | S ₁₂₄ | S ₁₂₅ | S ₁₂₆ | S ₁₂₇ | S ₁₂₈ | S ₁₂₉ | S ₁₃₀ | S ₁₃₁ | S ₁₃₂ | S ₁₃₃ | S ₁₃₄ | S ₁₃₅ | S ₁₃₆ | S ₁₃₇ | S ₁₃₈ | S ₁₃₉ | S ₁₄₀ | S ₁₄₁ | S ₁₄₂ | S ₁₄₃ | S ₁₄₄ | S ₁₄₅ | S ₁₄₆ | S ₁₄₇ | S ₁₄₈ | S ₁₄₉ | S ₁₅₀ | S ₁₅₁ | S ₁₅₂ | S ₁₅₃ | S ₁₅₄ | S ₁₅₅ | S ₁₅₆ | S ₁₅₇ | S ₁₅₈ | S ₁₅₉ | S ₁₆₀ | S ₁₆₁ | S ₁₆₂ | S ₁₆₃ | S ₁₆₄ | S ₁₆₅ | S ₁₆₆ | S ₁₆₇ | S ₁₆₈ | S ₁₆₉ | S ₁₇₀ | S ₁₇₁ | S ₁₇₂ | S ₁₇₃ | S ₁₇₄ | S ₁₇₅ | S ₁₇₆ | S ₁₇₇ | S ₁₇₈ | S ₁₇₉ | S ₁₈₀ | S ₁₈₁ | S ₁₈₂ | S ₁₈₃ | S ₁₈₄ | S ₁₈₅ | S ₁₈₆ | S ₁₈₇ | S ₁₈₈ | S ₁₈₉ | S ₁₉₀ | S ₁₉₁ | S ₁₉₂ | S ₁₉₃ | S ₁₉₄ | S ₁₉₅ | S ₁₉₆ | S ₁₉₇ | S ₁₉₈ | S ₁₉₉ | S ₂₀₀ | S ₂₀₁ | S ₂₀₂ | S ₂₀₃ | S ₂₀₄ | S ₂₀₅ | S ₂₀₆ | S ₂₀₇ | S ₂₀₈ | S ₂₀₉ | S ₂₁₀ | S ₂₁₁ | S ₂₁₂ | S ₂₁₃ | S ₂₁₄ | S ₂₁₅ | S ₂₁₆ | S ₂₁₇ | S ₂₁₈ | S ₂₁₉ | S ₂₂₀ | S ₂₂₁ | S ₂₂₂ | S ₂₂₃ | S ₂₂₄ | S ₂₂₅ | S ₂₂₆ | S ₂₂₇ | S ₂₂₈ | S ₂₂₉ | S ₂₃₀ | S ₂₃₁ | S ₂₃₂ | S ₂₃₃ | S ₂₃₄ | S ₂₃₅ | S ₂₃₆ | S ₂₃₇ | S ₂₃₈ | S ₂₃₉ | S ₂₄₀ | S ₂₄₁ | S ₂₄₂ | S ₂₄₃ | S ₂₄₄ | S ₂₄₅ | S ₂₄₆ | S ₂₄₇ | S ₂₄₈ | S ₂₄₉ | S ₂₅₀ | S ₂₅₁ | S ₂₅₂ | S ₂₅₃ | S ₂₅₄ | S ₂₅₅ | S ₂₅₆ | S ₂₅₇ | S ₂₅₈ | S ₂₅₉ | S ₂₆₀ | S ₂₆₁ | S ₂₆₂ | S ₂₆₃ | S ₂₆₄ | S ₂₆₅ | S ₂₆₆ | S ₂₆₇ | S ₂₆₈ | S ₂₆₉ | S ₂₇₀ | S ₂₇₁ | S ₂₇₂ | S ₂₇₃ | S ₂₇₄ | S ₂₇₅ | S ₂₇₆ | S ₂₇₇ | S ₂₇₈ | S ₂₇₉ | S ₂₈₀ | S ₂₈₁ | S ₂₈₂ | S ₂₈₃ | S ₂₈₄ | S ₂₈₅ | S ₂₈₆ | S ₂₈₇ | S ₂₈₈ | S ₂₈₉ | S ₂₉₀ | S ₂₉₁ | S ₂₉₂ | S ₂₉₃ | S ₂₉₄ | S ₂₉₅ | S ₂₉₆ | S ₂₉₇ | S ₂₉₈ | S ₂₉₉ | S ₃₀₀ | S ₃₀₁ | S ₃₀₂ | S ₃₀₃ | S ₃₀₄ | S ₃₀₅ | S ₃₀₆ | S ₃₀₇ | S ₃₀₈ | S ₃₀₉ | S ₃₁₀ | S ₃₁₁ | S ₃₁₂ | S ₃₁₃ | S ₃₁₄ | S ₃₁₅ | S ₃₁₆ | S ₃₁₇ | S ₃₁₈ | S ₃₁₉ | S ₃₂₀ | S ₃₂₁ | S ₃₂₂ | S ₃₂₃ | S ₃₂₄ | S ₃₂₅ | S ₃₂₆ | S ₃₂₇ | S ₃₂₈ | S ₃₂₉ | S ₃₃₀ | S ₃₃₁ | S ₃₃₂ | S ₃₃₃ | S ₃₃₄ | S ₃₃₅ | S ₃₃₆ | S ₃₃₇ | S ₃₃₈ | S ₃₃₉ | S ₃₄₀ | S ₃₄₁ | S ₃₄₂ | S ₃₄₃ | S ₃₄₄ | S ₃₄₅ | S ₃₄₆ | S ₃₄₇ | S ₃₄₈ | S ₃₄₉ | S ₃₅₀ | S ₃₅₁ | S ₃₅₂ | S ₃₅₃ | S ₃₅₄ | S ₃₅₅ | S ₃₅₆ | S ₃₅₇ | S ₃₅₈ | S ₃₅₉ | S ₃₆₀ | S ₃₆₁ | S ₃₆₂ | S ₃₆₃ | S ₃₆₄ | S ₃₆₅ | S ₃₆₆ | S ₃₆₇ | S ₃₆₈ | S ₃₆₉ | S ₃₇₀ | S ₃₇₁ | S ₃₇₂ | S ₃₇₃ | S ₃₇₄ | S ₃₇₅ | S ₃₇₆ | S ₃₇₇ | S ₃₇₈ | S ₃₇₉ | S ₃₈₀ | S ₃₈₁ | S ₃₈₂ | S ₃₈₃ | S ₃₈₄ | S ₃₈₅ | S ₃₈₆ | S ₃₈₇ | S ₃₈₈ | S ₃₈₉ | S ₃₉₀ | S ₃₉₁ | S ₃₉₂ | S ₃₉₃ | S ₃₉₄ | S ₃₉₅ | S ₃₉₆ | S ₃₉₇ | S ₃₉₈ | S ₃₉₉ | S ₄₀₀ | S ₄₀₁ | S ₄₀₂ | S ₄₀₃ | S ₄₀₄ | S ₄₀₅ | S ₄₀₆ | S ₄₀₇ | S ₄₀₈ | S ₄₀₉ | S ₄₁₀ | S ₄₁₁ | S ₄₁₂ | S ₄₁₃ | S ₄₁₄ | S ₄₁₅ | S ₄₁₆ | S ₄₁₇ | S ₄₁₈ | S ₄₁₉ | S ₄₂₀ | S ₄₂₁ | S ₄₂₂ | S ₄₂₃ | S ₄₂₄ | S ₄₂₅ | S ₄₂₆ | S ₄₂₇ | S ₄₂₈ | S ₄₂₉ | S ₄₃₀ | S ₄₃₁ | S ₄₃₂ | S ₄₃₃ | S ₄₃₄ | S ₄₃₅ | S ₄₃₆ | S ₄₃₇ | S ₄₃₈ | S ₄₃₉ | S ₄₄₀ | S ₄₄₁ | S ₄₄₂ | S ₄₄₃ | S ₄₄₄ | S ₄₄₅ | S ₄₄₆ | S ₄₄₇ | S ₄₄₈ | S ₄₄₉ | S ₄₅₀ | S ₄₅₁ | S ₄₅₂ | S ₄₅₃ | S ₄₅₄ | S ₄₅₅ | S ₄₅₆ | S ₄₅₇ | S ₄₅₈ | S ₄₅₉ | S ₄₆₀ | S ₄₆₁ | S ₄₆₂ | S ₄₆₃ | S ₄₆₄ | S ₄₆₅ | S ₄₆₆ | S ₄₆₇ | S ₄₆₈ | S ₄₆₉ | S ₄₇₀ | S ₄₇₁ | S ₄₇₂ | S ₄₇₃ | S ₄₇₄ | S ₄₇₅ | S ₄₇₆ | S ₄₇₇ | S ₄₇₈ | S ₄₇₉ | S ₄₈₀ | S ₄₈₁ | S ₄₈₂ | S ₄₈₃ | S ₄₈₄ | S ₄₈₅ | S ₄₈₆ | S ₄₈₇ | S ₄₈₈ | S ₄₈₉ | S ₄₉₀ | S ₄₉₁ | S ₄₉₂ | S ₄₉₃ | S ₄₉₄ | S ₄₉₅ | S ₄₉₆ | S ₄₉₇ | S ₄₉₈ | S ₄₉₉ | S ₅₀₀ | S ₅₀₁ | S ₅₀₂ | S ₅₀₃ | S ₅₀₄ | S ₅₀₅ | S ₅₀₆ | S ₅₀₇ | S ₅₀₈ | S ₅₀₉ | S ₅₁₀ | S ₅₁₁ | S ₅₁₂ | S ₅₁₃ | S ₅₁₄ | S ₅₁₅ | S ₅₁₆ | S ₅₁₇ | S ₅₁₈ | S ₅₁₉ | S ₅₂₀ | S ₅₂₁ | S ₅₂₂ | S ₅₂₃ | S ₅₂₄ | S ₅₂₅ | S ₅₂₆ | S ₅₂₇ | S ₅₂₈ | S ₅₂₉ | S ₅₃₀ | S ₅₃₁ | S ₅₃₂ | S ₅₃₃ | S ₅₃₄ | S ₅₃₅ | S ₅₃₆ | S ₅₃₇ | S ₅₃₈ | S ₅₃₉ | S ₅₄₀ | S ₅₄₁ | S ₅₄₂ | S ₅₄₃ | S ₅₄₄ | S ₅₄₅ | S ₅₄₆ | S ₅₄₇ | S ₅₄₈ | S ₅₄₉ | S ₅₅₀ | S ₅₅₁ | S ₅₅₂ | S ₅₅₃ | S ₅₅₄ | S ₅₅₅ | S ₅₅₆ | S ₅₅₇ | S ₅₅₈ | S ₅₅₉ | S ₅₆₀ | S ₅₆₁ | S ₅₆₂ | S ₅₆₃ | S ₅₆₄ | S ₅₆₅ | S ₅₆₆ | S ₅₆₇ | S ₅₆₈ | S ₅₆₉ | S ₅₇₀ | S ₅₇₁ | S ₅₇₂ | S ₅₇₃ | S ₅₇₄ | S ₅₇₅ | S ₅₇₆ | S ₅₇₇ | S ₅₇₈ | S ₅₇₉ | S ₅₈₀ | S ₅₈₁ | S ₅₈₂ | S ₅₈₃ | S ₅₈₄ | S ₅₈₅ | S ₅₈₆ | S ₅₈₇ | S ₅₈₈ | S ₅₈₉ | S ₅₉₀ | S ₅₉₁ | S ₅₉₂ | S ₅₉₃ | S ₅₉₄ | S ₅₉₅ | S ₅₉₆ | S ₅₉₇ | S ₅₉₈ | S ₅₉₉ | S ₆₀₀ | S ₆₀₁ | S ₆₀₂ | S ₆₀₃ | S ₆₀₄ | S ₆₀₅ | S ₆₀₆ | S ₆₀₇ | S ₆₀₈ | S ₆₀₉ | S ₆₁₀ | S ₆₁₁ | S ₆₁₂ | S ₆₁₃ | S ₆₁₄ | S ₆₁₅ | S ₆₁₆ | S ₆₁₇ | S ₆₁₈ | S ₆₁₉ | S ₆₂₀ | S ₆₂₁ | S ₆₂₂ | S ₆₂₃ | S ₆₂₄ | S ₆₂₅ | S ₆₂₆ | S ₆₂₇ | S ₆₂₈ | S ₆₂₉ | S ₆₃₀ | S ₆₃₁ | S ₆₃₂ | S ₆₃₃ | S ₆₃₄ | S ₆₃₅ | S ₆₃₆ | S ₆₃₇ | S ₆₃₈ | S ₆₃₉ | S ₆₄₀ | S ₆₄₁ | S ₆₄₂ | S ₆₄₃ | S ₆₄₄ | S ₆₄₅ | S ₆₄₆ | S ₆₄₇ | S ₆₄₈ | S ₆₄₉ | S ₆₅₀ | S ₆₅₁ | S ₆₅₂ | S ₆₅₃ | S ₆₅₄ | S ₆₅₅ | S ₆₅₆ | S ₆₅₇ | S ₆₅₈ | S ₆₅₉ | S ₆₆₀ | S ₆₆₁ | S ₆₆₂ | S ₆₆₃ | S ₆₆₄ | S ₆₆₅ | S ₆₆₆ | S ₆₆₇ | S ₆₆₈ | S ₆₆₉ | S ₆₇₀ | S ₆₇₁ | S ₆₇₂ | S ₆₇₃ | S ₆₇₄ | S ₆₇₅ | S ₆₇₆ | S ₆₇₇ | S ₆₇₈ | S ₆₇₉ | S ₆₈₀ | S ₆₈₁ | S ₆₈₂ | S ₆₈₃ | S ₆₈₄ | S ₆₈₅ | S ₆₈₆ | S ₆₈₇ | S ₆₈₈ | S ₆₈₉ | S ₆₉₀ | S ₆₉₁ | S ₆₉₂ | S ₆₉₃ | S ₆₉₄ | S ₆₉₅ | S ₆₉₆ | S ₆₉₇ | S ₆₉₈ | S ₆₉₉ | S ₇₀₀ | S ₇₀₁ | S ₇₀₂ | S ₇₀₃ | S ₇₀₄ | S ₇₀₅ | S ₇₀₆ | S ₇₀₇ | S ₇₀₈ | S ₇₀₉ | S ₇₁₀ | S ₇₁₁ | S ₇₁₂ | S ₇₁₃ | S ₇₁₄ | S ₇₁₅ | S ₇₁₆ | S ₇₁₇ | S ₇₁₈ | S ₇₁₉ | S ₇₂₀ | S ₇₂₁ | S ₇₂₂ | S ₇₂₃ | S ₇₂₄ | S ₇₂₅ | S ₇₂₆ | S ₇₂₇ | S ₇₂₈ | S ₇₂₉ | S ₇₃₀ | S ₇₃₁ | S ₇₃₂ | S ₇₃₃ | S ₇₃₄ | S ₇₃₅ | S ₇₃₆ | S ₇₃₇ | S ₇₃₈ | S ₇₃₉ | S ₇₄₀ | S ₇₄₁ | S ₇₄₂ | S ₇₄₃ | S ₇₄₄ | S ₇₄₅ | S ₇₄₆ | S ₇₄₇ | S ₇₄₈ | S ₇₄₉ | S ₇₅₀ | S ₇₅₁ | S ₇₅₂ | S ₇₅₃ | S ₇₅₄ | S ₇₅₅ | S ₇₅₆ | S ₇₅₇ | S ₇₅₈ | S ₇₅₉ | S ₇₆₀ | S ₇₆₁ | S ₇₆₂ | S ₇₆₃ | S ₇₆₄ | S ₇₆₅ | S ₇₆₆ | S ₇₆₇ | S ₇₆₈ | S ₇₆₉ | S ₇₇₀ | S ₇₇₁ | S ₇₇₂ | S ₇₇₃ | S ₇₇₄ | S ₇₇₅ | S ₇₇₆ | S ₇₇₇ | S ₇₇₈ | S ₇₇₉ | S ₇₈₀ | S ₇₈₁ | S ₇₈₂ | S ₇₈₃ | S ₇₈₄ | S ₇₈₅ |

表 4 - (2) 實驗結果總括表 (2)

| 夾 號 | 風 速 m/S | | | | | 風 量 m ³ /S | | | | | 靜 | | | | | | | | | | 庄 | | | | | | | | | | m m a q | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|
| 番号 | T _B | T _C | T _D | T _E | T _F | Q _B | Q _C | Q _D | Q _E | Q _F | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₃₀ | S ₃₁ | S ₃₂ | S ₃₃ | S ₃₄ | S ₃₅ | S ₃₆ | S ₃₇ | S ₃₈ | S ₃₉ | S ₄₀ | S ₄₁ | S ₄₂ | S ₁₉ | S ₂₀ | S ₂₁ | S ₂₂ | S ₂₃ | S ₂₄ | S ₂₅ | S ₂₆ | S ₂₇ | S ₂₈ | S ₅ | S ₆ | S ₇ | S ₈ | S ₉ | S ₁₀ | S ₁₁ | S ₁₂ | S ₁₃ | S ₁₄ | S ₁₅ | S ₁₆ | S ₁₇ | S ₁₈ | |
| 2-1-1 | 760 | 1100 | 480 | 410 | -055 | 285 | 266 | 237 | 202 | -027 | -14 | -13 | -14 | -14 | -13 | -14 | -10 | -10 | -10 | -09 | -10 | -09 | -08 | -10 | -09 | -11 | -05 | 14 | 24 | 23 | 28 | 23 | 24 | 21 | 21 | 62 | 21 | -65 | -47 | -46 | 61 | -27 | 51 | 54 | 39 | -03 | -02 | -12 | -10 | -10 | -13 | |
| 2-1-2 | 1160 | 1690 | 720 | 740 | -112 | 435 | 409 | 355 | 365 | -055 | -41 | -39 | -42 | -45 | -40 | -38 | -31 | -32 | -32 | -33 | -31 | -29 | -30 | -31 | -30 | -31 | -42 | 31 | 60 | 59 | 64 | 56 | 55 | 51 | 50 | 48 | 46 | -211 | -152 | -148 | 129 | -14 | 67 | 79 | 60 | -17 | -10 | -37 | -31 | -34 | -39 | |
| 2-1-3 | 1530 | 2210 | 960 | 1000 | -465 | 574 | 535 | 474 | 494 | -081 | -71 | -73 | -73 | -78 | -74 | -66 | -56 | -54 | -57 | -52 | -58 | -53 | -54 | -56 | -53 | -57 | -97 | 11 | 19 | 100 | 104 | 92 | 93 | 84 | 82 | 78 | 76 | -391 | -304 | -263 | 206 | -04 | 93 | 126 | 76 | -36 | -29 | -68 | -59 | -58 | -68 | |
| 2-1-4 | 2240 | 3190 | 1380 | 1430 | -240 | 810 | 772 | 681 | 706 | -118 | -152 | -155 | -159 | -161 | -156 | -135 | -123 | -119 | -121 | -119 | -123 | -121 | -117 | -123 | -115 | -121 | -196 | 74 | 199 | 190 | 202 | 183 | 186 | 175 | 170 | 159 | 156 | -886 | -792 | -724 | 377 | 82 | 142 | 241 | 144 | -80 | -67 | -139 | -115 | -131 | -148 | |
| 2-1-5 | 2370 | 3370 | 1460 | 1550 | -260 | 889 | 816 | 721 | 765 | -128 | -186 | -186 | -191 | -192 | -191 | -168 | -147 | -143 | -147 | -147 | -146 | -147 | -143 | -141 | -136 | -140 | -243 | 83 | 231 | 235 | 243 | 199 | 202 | 199 | 195 | 179 | 183 | -1073 | -771 | -703 | 432 | 143 | 192 | 278 | 189 | -99 | -79 | -175 | -149 | -161 | -18 | |
| 2-1-6 | 2400 | 3430 | 1490 | 1600 | -265 | 900 | 830 | 735 | 790 | -131 | -190 | -193 | -194 | -199 | -199 | -175 | -152 | -150 | -144 | -151 | -155 | -154 | -150 | -149 | -148 | -151 | -256 | 106 | 231 | 247 | 252 | 223 | 235 | 207 | 195 | 187 | 187 | -1218 | -839 | -748 | 529 | 160 | 223 | 284 | 208 | -103 | -83 | -118 | -151 | -170 | -194 | |
| 2-2-1 | 800 | 1120 | 600 | 820 | 015 | 300 | 271 | 296 | 237 | 007 | -19 | -19 | -20 | -21 | -18 | -16 | -14 | -15 | -14 | -15 | -16 | -13 | -18 | -11 | -15 | -14 | -14 | -10 | 07 | 19 | 18 | 20 | 17 | 17 | 15 | 13 | 15 | 11 | -71 | -56 | -53 | 58 | 56 | 144 | 146 | 118 | -06 | -04 | -15 | -14 | -13 | -14 |
| 2-2-2 | 1200 | 1270 | 830 | 820 | -044 | 450 | 428 | 410 | 405 | -021 | -51 | -52 | -54 | -56 | -53 | -47 | -43 | -40 | -40 | -39 | -43 | -38 | -39 | -39 | -34 | -39 | -56 | 27 | 49 | 43 | 46 | 39 | 38 | 32 | 30 | 29 | 26 | -219 | -168 | -156 | 136 | 100 | 159 | 187 | 150 | -26 | -14 | -43 | -39 | -31 | -39 | |
| 2-2-3 | 1630 | 2180 | 1030 | 1040 | -065 | 574 | 528 | 508 | 513 | -032 | -83 | -86 | -87 | -91 | -87 | -75 | -67 | -66 | -67 | -65 | -63 | -65 | -61 | -67 | -63 | -64 | -105 | 34 | 71 | 67 | 71 | 60 | 59 | 49 | 47 | 44 | 40 | -368 | -272 | -258 | 188 | 120 | 191 | 224 | 177 | -43 | -30 | -71 | -67 | -63 | -71 | |
| 2-2-4 | 2250 | 3180 | 1490 | 1550 | -105 | 844 | 770 | 735 | 765 | -052 | -186 | -190 | -195 | -198 | -194 | -164 | -146 | -139 | -144 | -145 | -144 | -141 | -140 | -144 | -140 | -146 | -195 | 37 | 140 | 143 | 148 | 126 | 123 | 104 | 98 | 92 | 83 | -854 | -639 | -576 | 324 | 157 | 246 | 338 | 271 | -91 | -78 | -160 | -132 | -144 | -163 | |
| 2-2-5 | 2380 | 3370 | 1580 | 1700 | -115 | 893 | 816 | 780 | 839 | -057 | -221 | -225 | -230 | -236 | -232 | -207 | -176 | -169 | -176 | -172 | -176 | -173 | -166 | -173 | -168 | -171 | -229 | 45 | 144 | 165 | 169 | 144 | 140 | 124 | 114 | 107 | 97 | -1040 | -756 | -698 | 420 | 169 | 276 | 364 | 294 | -111 | -91 | -186 | -160 | -166 | -192 | |
| 2-2-6 | 2410 | 3440 | 1600 | 1730 | -128 | 904 | 832 | 790 | 854 | -063 | -233 | -237 | -241 | -247 | -245 | -227 | -185 | -176 | -223 | -180 | -178 | -180 | -176 | -181 | -176 | -177 | -246 | 48 | 174 | 174 | 182 | 149 | 150 | 129 | 118 | 109 | 99 | -1095 | -804 | -730 | 431 | 176 | 261 | 361 | 294 | -119 | -102 | -201 | -168 | -182 | -200 | |
| 2-3-1 | 810 | 1150 | 610 | 820 | 025 | 304 | 278 | 301 | 257 | 012 | -25 | -24 | -26 | -27 | -25 | -19 | -18 | -18 | -18 | -17 | -18 | -17 | -18 | -18 | -16 | -18 | -26 | 02 | 11 | 10 | 12 | 07 | 08 | 05 | 03 | 03 | 02 | -74 | -57 | -56 | 430 | 35 | 74 | 92 | 73 | -10 | -06 | -17 | -16 | -17 | -21 | |
| 2-3-2 | 1170 | 1700 | 1200 | 960 | 033 | 439 | 411 | 459 | 424 | 016 | -59 | -61 | -63 | -65 | -63 | -50 | -48 | -44 | -44 | -45 | -47 | -47 | -43 | -34 | -45 | -43 | -43 | -51 | 0 | 23 | 21 | 26 | 15 | 15 | 09 | 06 | 06 | 01 | -194 | -156 | -141 | 107 | 75 | 94 | 75 | 92 | -26 | -20 | -43 | -40 | -41 | -47 |
| 2-3-3 | 1560 | 2250 | 1190 | 1150 | 020 | 585 | 546 | 587 | 568 | 010 | -145 | -108 | -108 | -114 | -112 | -88 | -81 | -79 | -79 | -79 | -80 | -78 | -77 | -79 | -77 | -79 | -110 | -01 | 40 | 36 | 39 | 35 | 25 | 14 | 11 | 07 | 02 | -373 | -275 | -274 | 183 | 92 | 121 | 169 | 125 | -83 | -42 | -83 | -75 | -74 | -86 | |
| 2-3-4 | 2260 | 3210 | 1700 | 1710 | 046 | 848 | 777 | 839 | 844 | 023 | -229 | -233 | -238 | -245 | -242 | -196 | -179 | -173 | -173 | -173 | -174 | -173 | -169 | -171 | -169 | -167 | -204 | -50 | 68 | 71 | 77 | 51 | 47 | 27 | 21 | 15 | 01 | -836 | -632 | -586 | 337 | 137 | 177 | 260 | 198 | -113 | -102 | -176 | -155 | -167 | -185 | |
| 2-3-5 | 2390 | 3410 | 1820 | 1830 | 047 | 896 | 825 | 898 | 903 | 023 | -275 | -280 | -286 | -292 | -290 | -241 | -216 | -206 | -209 | -206 | -213 | -206 | -203 | -204 | -202 | -203 | -247 | -63 | 76 | 83 | 92 | 60 | 58 | 32 | 23 | 17 | 0 | -1011 | -776 | -706 | 387 | 149 | 194 | 293 | 216 | -138 | -126 | -215 | -189 | -206 | -220 | |
| 2-3-6 | 2430 | 3480 | 1830 | 1870 | 047 | 911 | 842 | 903 | 923 | 023 | -287 | -291 | -298 | -307 | -302 | -228 | -228 | -215 | -218 | -217 | -219 | -218 | -214 | -212 | -211 | -210 | -260 | -59 | 81 | 88 | 96 | 63 | 54 | 34 | 25 | 19 | 01 | -1077 | -796 | -747 | 406 | 157 | 183 | 291 | 216 | -148 | -130 | -228 | -198 | -212 | -232 | |
| 2-4-1 | 890 | 1320 | 710 | 380 | -046 | 334 | 319 | 350 | 188 | -023 | -15 | -15 | -16 | -15 | -14 | -12 | -11 | -11 | -12 | -11 | -12 | -11 | -11 | -11 | -11 | -14 | -27 | 26 | 35 | 35 | 35 | 33 | 29 | 26 | 29 | 27 | 27 | -60 | -46 | -46 | 74 | 85 | 64 | 63 | 41 | 02 | 06 | -14 | -01 | -04 | -11 | |
| 2-4-2 | 1250 | 2470 | 1210 | 700 | -070 | 656 | 598 | 612 | 346 | -035 | -45 | -45 | -46 | -47 | -45 | -37 | -33 | -34 | -34 | -34 | -34 | -34 | -32 | -34 | -34 | -33 | -57 | 76 | 152 | 148 | 150 | 121 | 133 | 106 | 119 | 113 | 111 | -189 | -134 | -134 | 296 | 308 | 269 | 249 | 185 | -01 | 17 | -37 | -25 | -30 | -44 | |
| 2-4-3 | 2120 | 3190 | 1510 | 380 | -090 | 829 | 772 | 745 | 434 | -044 | -65 | -65 | -66 | -67 | -66 | -56 | -50 | -48 | -49 | -50 | -50 | -51 | -49 | -49 | -52 | -51 | -93 | 135 | 157 | 231 | 274 | 190 | 209 | 157 | 185 | 185 | 169 | -288 | -214 | -200 | 458 | 479 | 391 | 368 | 286 | -01 | 19 | -55 | -37 | -47 | -65 | |
| 2-4-4 | 2540 | 3900 | 1630 | 1050 | -120 | 953 | 944 | 805 | 518 | -059 | -86 | -89 | -91 | -94 | -90 | -82 | -66 | -66 | -69 | -68 | -71 | -70 | -69 | -69 | -68 | -70 | -119 | 204 | - | - | - | - | - | 246 | - | - | 250 | -417 | -310 | -282 | 677 | 711 | 573 | 544 | 435 | 02 | 25 | -82 | -54 | -52 | -85 | |
| 2-5-1 | 900 | 1320 | 810 | 420 | 014 | 338 | 319 | 400 | 207 | 007 | -19 | -18 | -20 | -21 | -19 | -15 | -13 | -14 | -14 | -14 | -14 | -14 | -13 | -13 | -14 | -15 | -27 | 14 | 26 | 25 | 25 | 22 | 29 | 14 | 16 | 15 | 14 | -55 | -42 | -41 | 75 | 80 | 63 | 63 | 46 | 02 | 03 | -09 | -06 | -06 | -14 | |
| 2-5-2 | 1790 | 2520 | 1480 | 820 | 056 | 676 | 610 | 731 | 405 | 028 | -60 | -60 | -62 | -64 | -62 | -46 | -43 | -42 | -43 | -42 | -42 | -44 | -42 | -44 | -43 | -44 | -58 | 32 | 106 | 109 | 112 | 95 | 90 | 58 | 75 | 68 | 62 | -171 | -131 | -126 | 295 | 305 | 262 | 253 | 305 | -05 | 07 | -42 | -32 | -36 | -50 | |
| 2-5-3 | 2280 | 3250 | 1760 | 1020 | 070 | 855 | 787 | 869 | 503 | 035 | -86 | -88 | -88 | -92 | -91 | -71 | -67 | -64 | -65 | -65 | -65 | -65 | -65 | -64 | -63 | -63 | -83 | 46 | 173 | 186 | 175 | 156 | 147 | 75 | 119 | 110 | 99 | -253 | -194 | -190 | 470 | 493 | 401 | 378 | 300 | -06 | 13 | 67 | -46 | -52 | -76 | |
| 2-5-4 | 2550 | 3790 | 2110 | 1180 | 080 | 956 | 917 | 1041 | 582 | 039 | -119 | -121 | -124 | -129 | -112 | -101 | -93 | -90 | -92 | -91 | -90 | -88 | -89 | -90 | -87 | -88 | -115 | 69 | 238 | 247 | 248 | 214 | 209 | 126 | 173 | 156 | 143 | -362 | -279 | -260 | 666 | 697 | 558 | 530 | 430 | -10 | 15 | -98 | -65 | -80 | -104 | |
| 2-6-1 | 1020 | 1500 | 980 | 520 | 082 | 383 | 363 | 484 | 257 | 040 | -28 | -28 | -29 | -30 | -29 | -22 | -20 | -19 | -20 | -19 | -20 | -21 | -19 | -19 | -19 | -18 | -33 | 07 | 21 | 18 | 17 | 12 | 10 | -02 | 05 | 03 | -01 | -60 | -46 | -46 | 99 | 103 | 80 | 79 | 76 | -02 | 05 | -13 | -10 | -06 | -15 | |
| 2-6-2 | 2030 | 2820 | 1730 | 990 | 250 | 761 | 682 | 854 | 489 | 123 | -82 | -84 | -84 | -87 | -87 | -66 | -59 | -59 | -58 | -59 | -59 | -58 | -58 | -59 | -57 | -58 | -76 | -31 | 50 | 68 | 75 | 50 | 45 | -08 | 20 | 03 | -04 | -164 | -137 | -125 | 364 | 374 | 316 | 295 | 234 | -11 | 02 | -57 | -42 | -49 | -65 | |
| 2-6-3 | 2400 | 3440 | 2180 | 1170 | 310 | 900 | 832 | 1076 | 578 | 153 | -109 | -112 | -112 | -116 | -117 | -90 | -81 | -77 | -80 | -79 | -80 | -78 | -78 | -79 | -76 | -78 | -100 | -48 | 73 | 99 | 111 | 78 | 69 | -21 | 29 | 20 | -05 | -216 | -174 | -158 | 540 | 569 | 453 | 434 | 357 | -12 | 10 | -83 | -57 | -72 | -92 | |
| 2-6-4 | 2630 | 3940 | 2410 | 1340 | 350 | 986 | 953 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

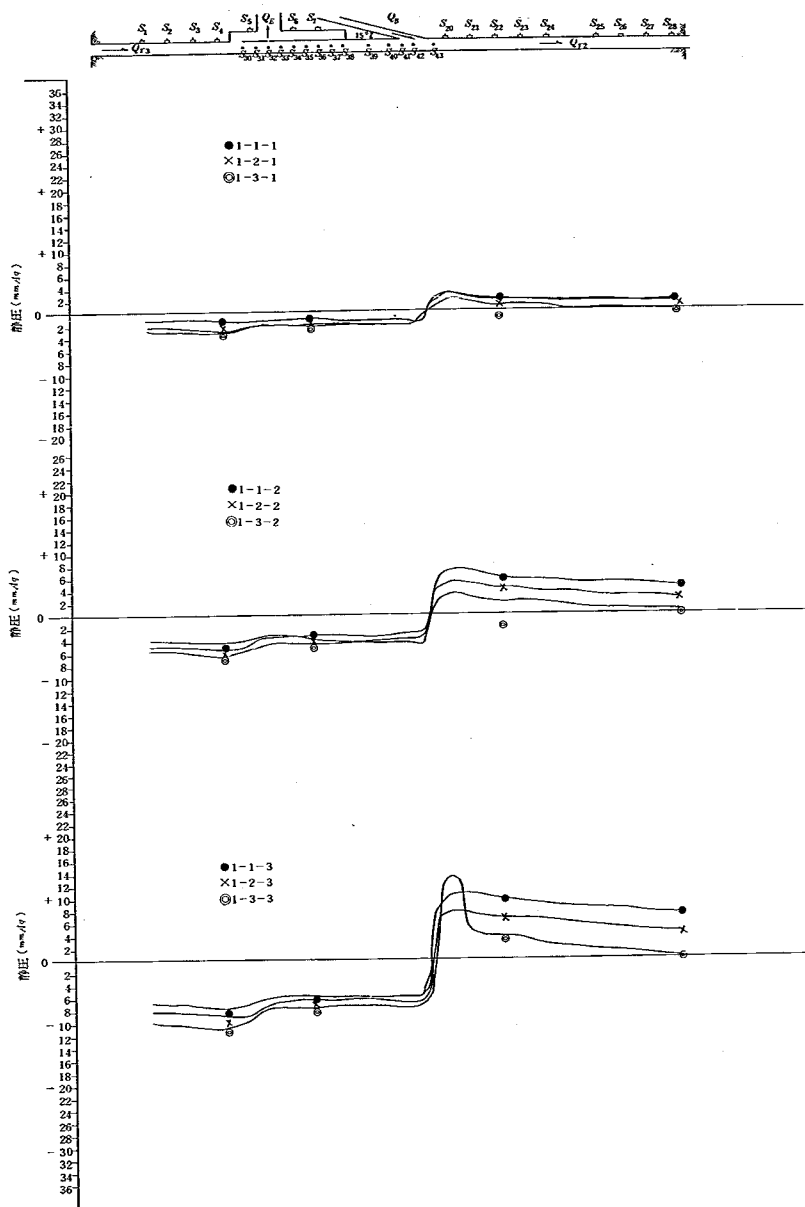
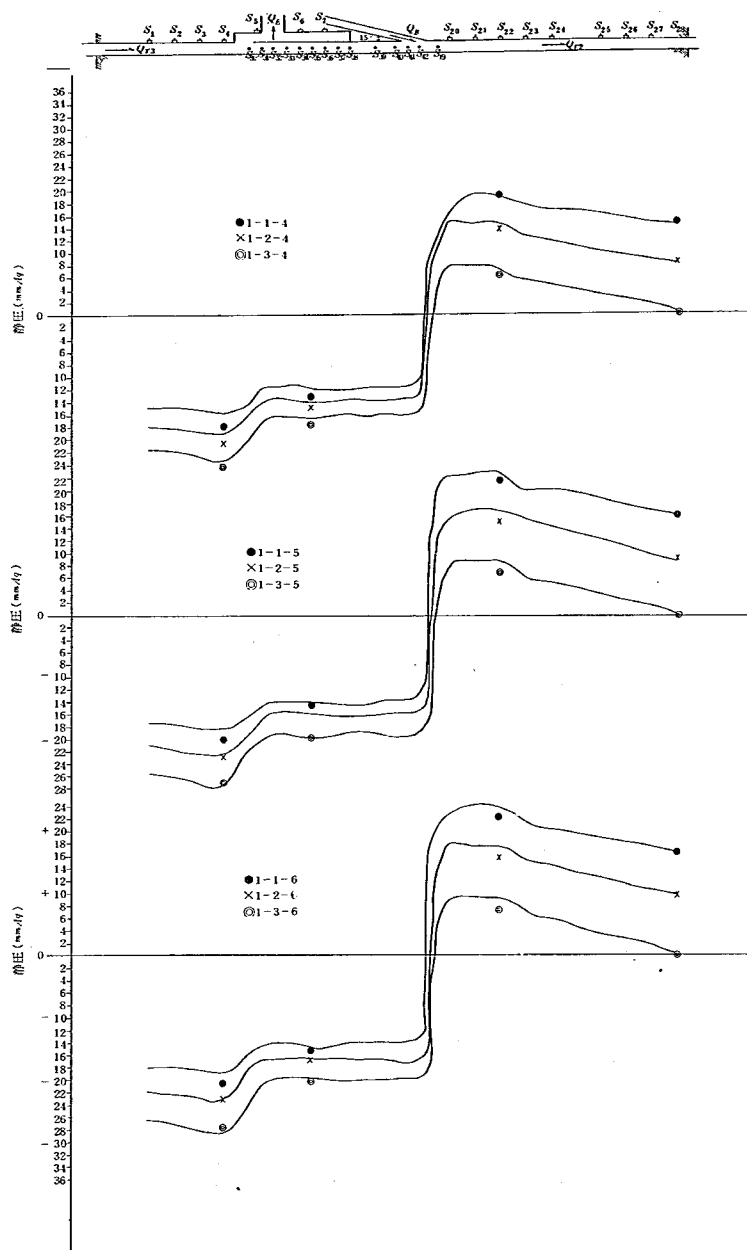


图-6-(1) 静压分布



图一 6 - (2) 静压分布

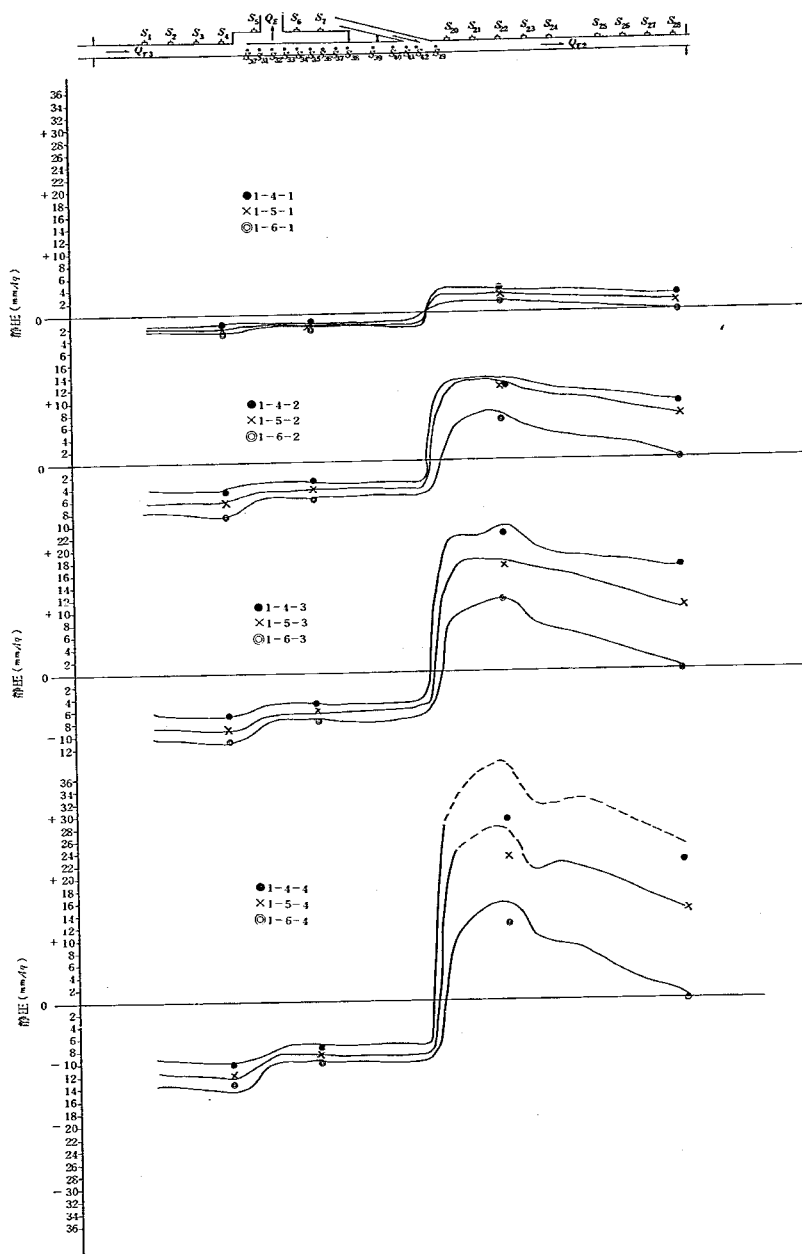


图-6-(3) 静压分布

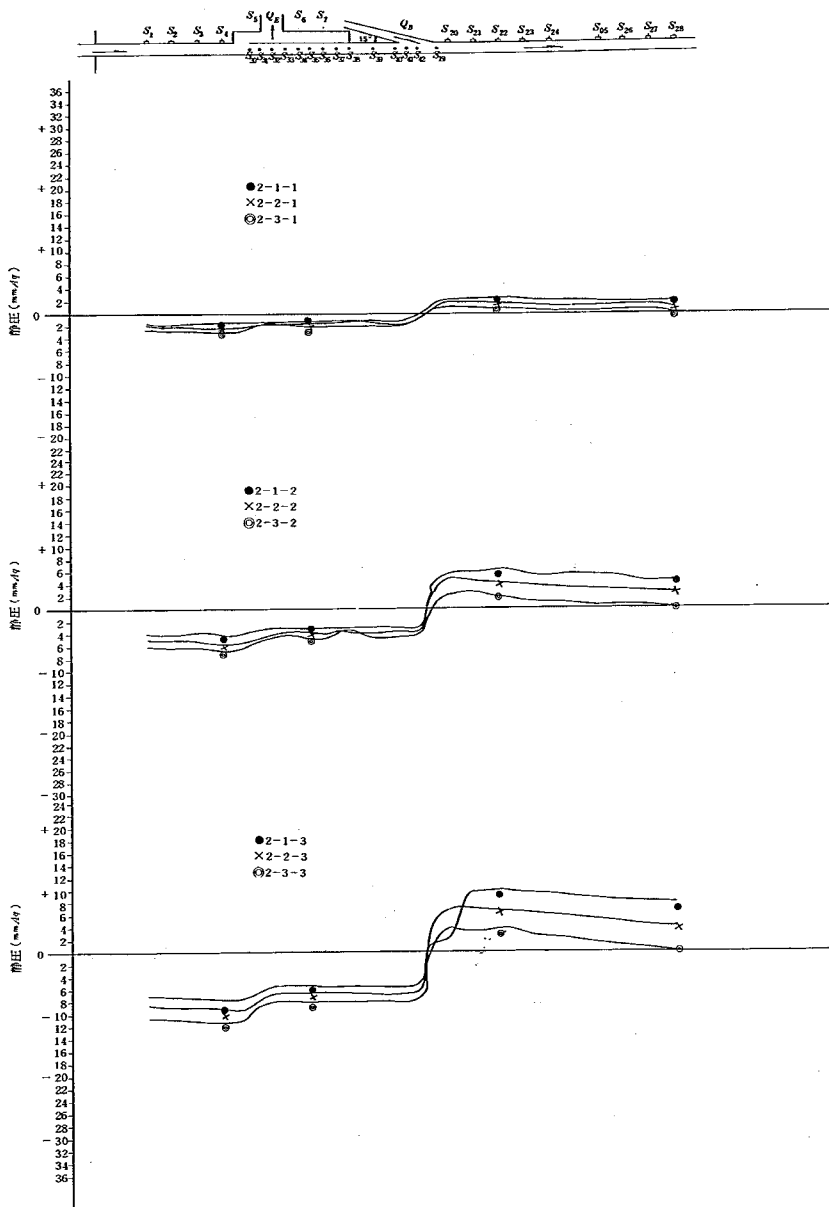


图-6-(4) 静压分布

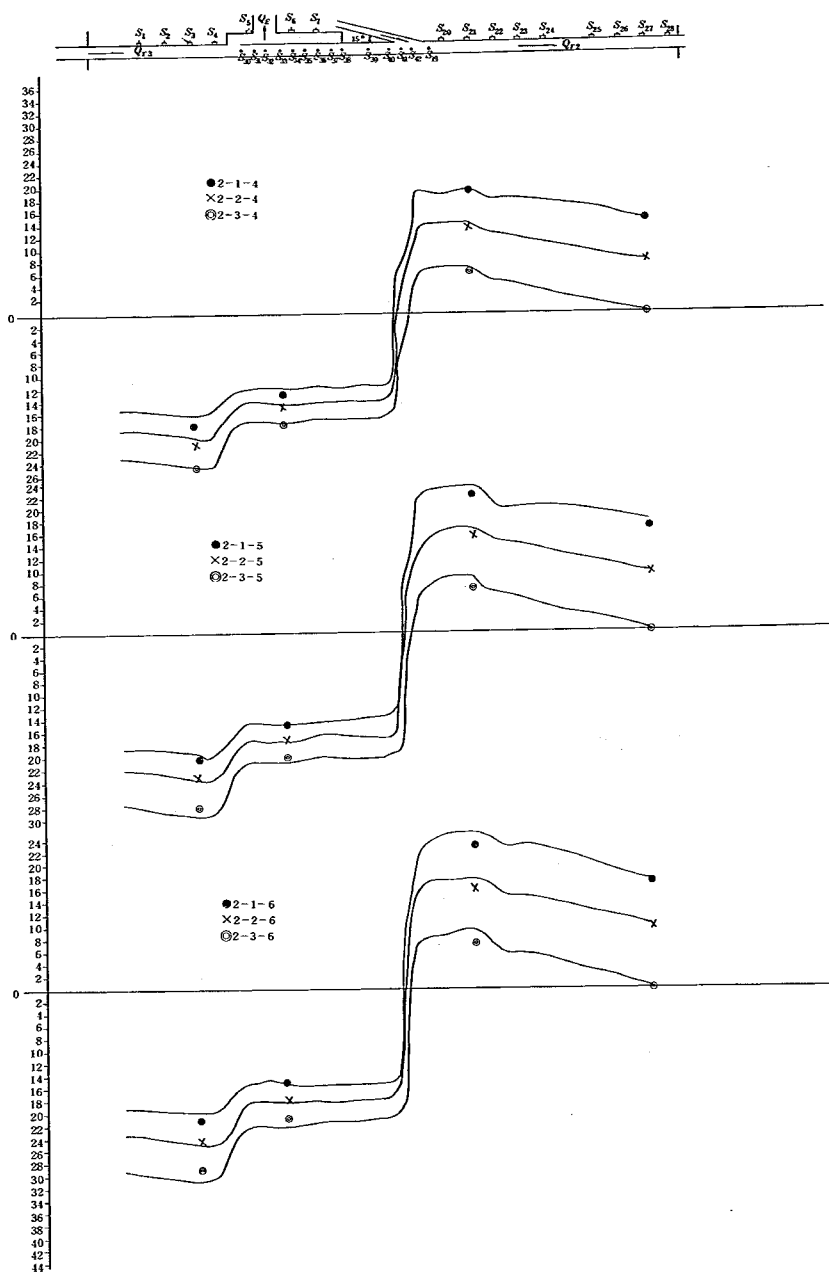


图-6-(5) 静压分布

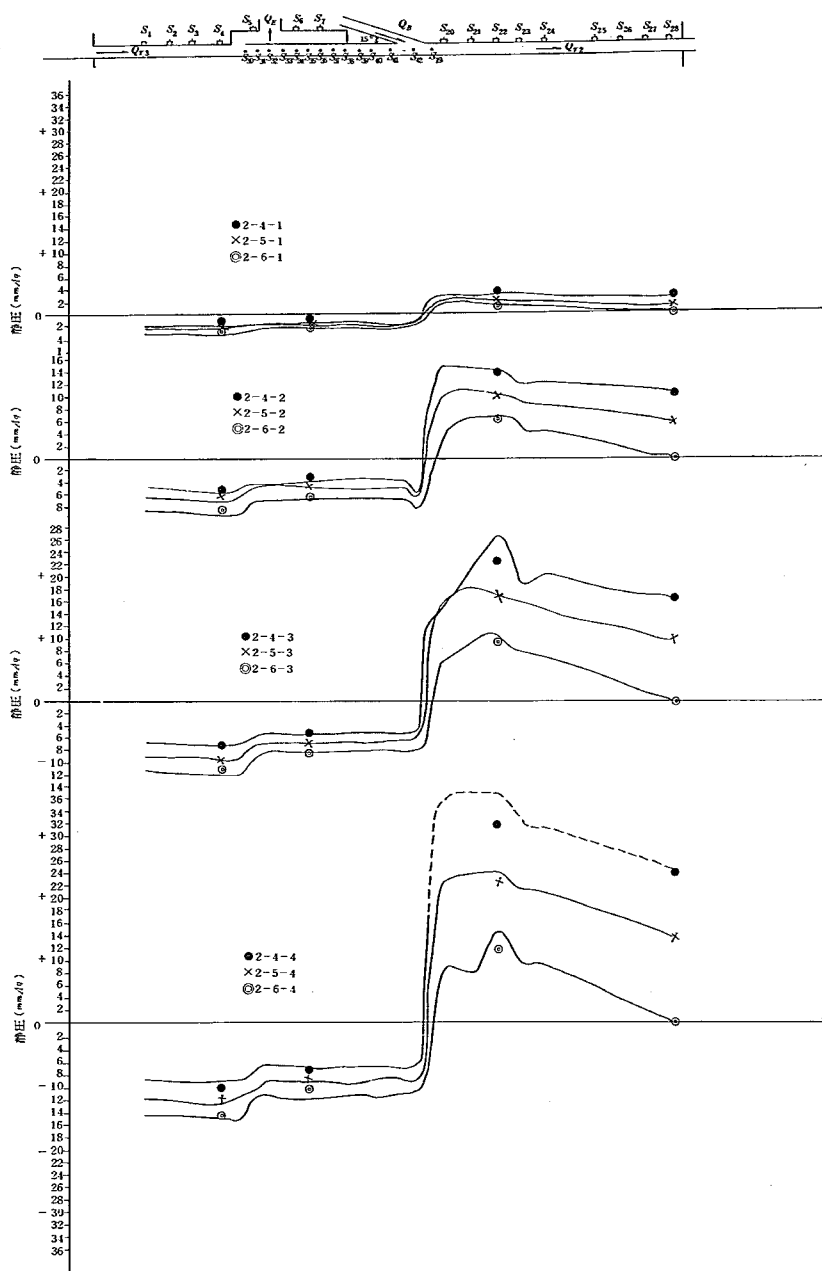


图-6-(6) 静压分布

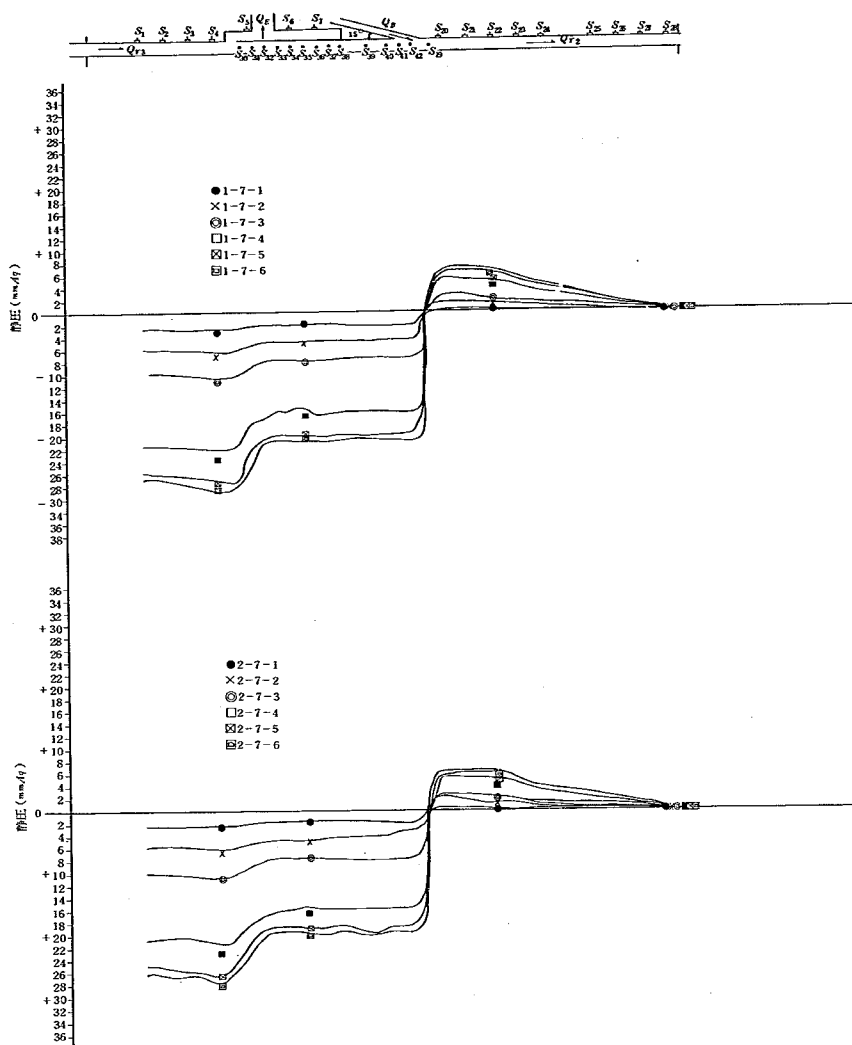


図-6-1(7) 静圧分布

れており正確な P_2 を測定することが困難であった。このため実験データの整理にあたっては静圧の分布から噴流の混合がほぼ終了すると考えられる静圧測定点番号 S_{22} の静圧を P_2 とみなした。一方、 P_{1b} は比較的安定しており、データ整理にあたっては送排気口間の平均的値を図から求めて用いた。

圧力上昇を噴流混合後の車道部の平均風速 V_2 の動圧で割って無次元化し、送気量 Q_0 と噴流混合後の車道部の流量 Q_2 との比 Q_0/Q_2 との関係においてプロットすると図-8 のようになる。本実験の場合、流量の収支が必ずしも十分でないことから、データの整理にあたってはこの点に関し検討が必要であるが、ここでは風速が小さい V_1 (Q_1) および送気量 (同一流量を 2 断面で測定している場合は平均を用いる) が正しいものとして整理した。

送気部における噴流式圧力上昇機構による圧力上昇は図-9 のように検査面を取り運動量の式および連続の式を適用すると式-(1)および式-(2)のようになる。

$$\rho Q_2 V_2 - (\rho Q_1 V_1 + k_b \rho Q_0 V_0 \cos \theta_0) = A_1 (P_{1b} - P_2) \quad (1)$$

$$A_1 V_1 + A_0 V_0 = A_1 V_2 \quad (2)$$

ここで k_b は送気噴流の運動量の効率をあらわす係数で、理論値通りの圧力上昇が得られた場合 $k_b = 1.0$ である。式-(1)および式-(2)を整理すると圧力上昇を表わす式として次式が得られる。

$$P_2 - P_{1b} = \rho V_0^2 \left(\frac{A_0}{A_1} \right) \left\{ k_b \cos \theta_0 - \left(\frac{A_0}{A_1} \right) - 2 \left(\frac{V_1}{V_0} \right) \right\} \quad (3)$$

また、式-(3)を V_2 の動圧を用いて無次元化すると

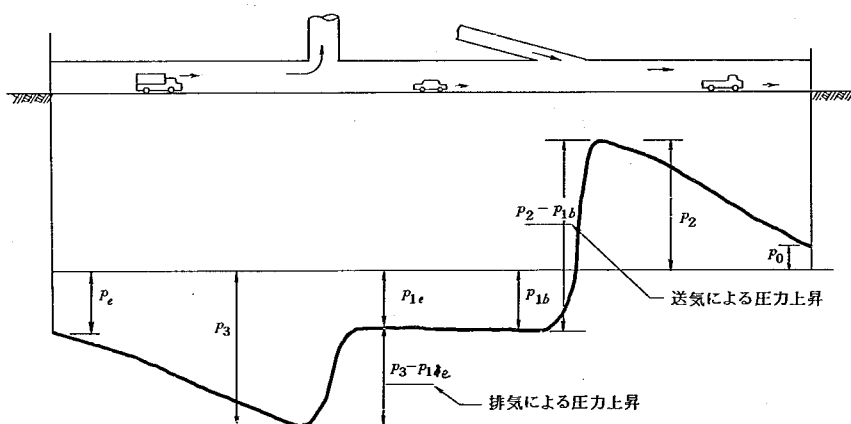
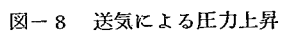


図-7 トンネル車道部静圧分布模式図



$$\frac{P_2 - P_{1b}}{\frac{1}{2} \rho V_2^2} = 2 \left(\frac{Q_0}{Q_2} \right) \left\{ \left(\frac{V_0}{V_2} \right) k_b \cos \theta_0 + \frac{Q_0}{Q_2} - 2 \right\} \quad \dots\dots\dots(4)$$

となる。

式(4)において $k_b = 1.0, 0.95, 0.9, 0.8$ として, $(P_{1b} - P_2) / \frac{1}{2} \rho V_2^2$ を求めると図-8に示す曲線となる。実験結果のプロットと計算値とを比較すると, 短絡側では $k_b = 0.9$ の曲線と比較的良好一致し, 通り抜け側では $k_b = 0.95$ の曲線に近づく傾向が認められる。

この結果から, 噴流式圧力上昇機構による圧力上昇は k_b を適切に取る (本実験の場合 $0.9 \sim 0.95$) ことにより式(3)あるいは式(4)を用いて求めることができることがわかる。

5.2 排気による車道部の圧力上昇

排気による車道部の圧力変化 (本実験の場合すべて圧力上昇) について送気の場合と同様に図-10のように検査面を取り運動量の式および連続の式を求めると式(5)および式(6)となる。 k_e は排気口から持ち出される運動量の程度を表わす係数で, 排気口全面にわたって一様な風速で排気され, 風速の方向がダクトの方向と一致する場合は $k_e = 1 / \tan \theta_4$ である。

$$k_e \rho Q_4 V_4 + \rho Q_1 V_1 - \rho Q_3 V_3 = A_1 (P_3 - P_{1e}) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$V_3 A_1 = A_4 V_4 + A_1 V_1 \quad \dots\dots\dots(6)$$

式(5)および式(6)を整理すると排気による圧力の変化 ($P_3 - P_{1e}$) は

$$P_3 - P_{1e} = \rho V_3^2 \left(\frac{A_4}{A_1} \right) \left\{ k_e - \left(\frac{A_4}{A_1} \right) - 2 \left(\frac{V_1}{V_3} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots(7)$$

で表わされる。排気前の車道部の風速 V_3 の動圧で無次元化すると式(7)は次式のようにになる。

$$\frac{P_3 - P_{1e}}{\frac{1}{2} \rho V_3^2} = 2 \left(\frac{Q_4}{Q_3} \right) \left\{ k_e \left(\frac{V_4}{V_3} \right) + \frac{Q_4}{Q_3} - 2 \right\} \quad \dots\dots\dots(8)$$

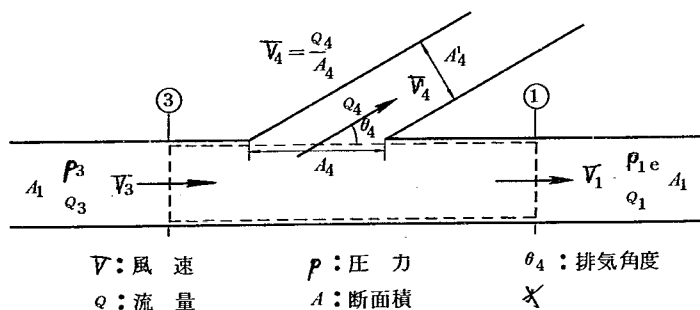


図-10

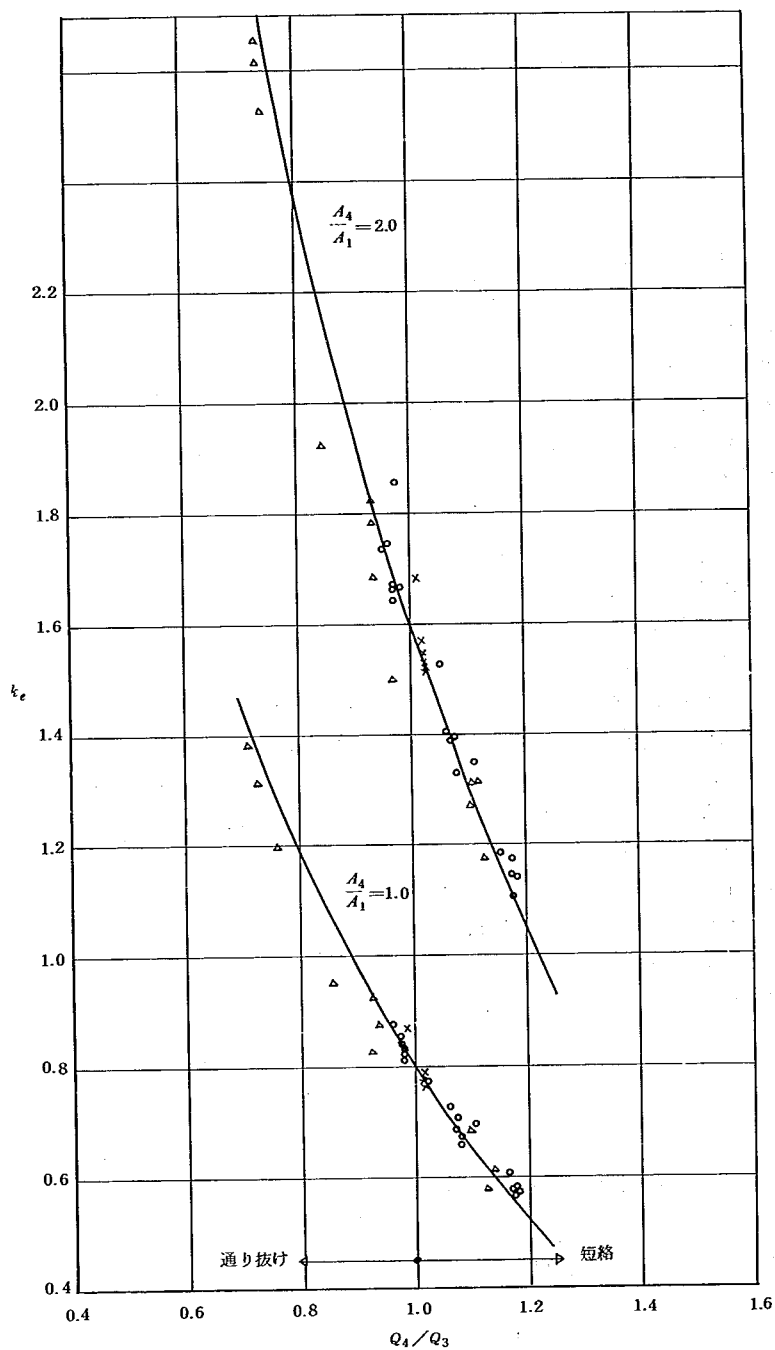


図-11 k_e と Q_4/Q_3 との関係

式-(8)を変形して k_e を求めると

$$k_e = \left(\frac{A_4}{A_1} \right) \left\{ 2 \left(\frac{Q_3}{Q_4} \right) - \left(\frac{Q_3}{Q_4} \right)^2 \frac{P_{1b} - P_3}{\rho V_3^2} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

となる。

実験の結果を式-(9)に代入し、 k_e 求めると図-11となる。図中に示した曲線は $(P_{1b} - P_3) / \rho V_3^2 = 0.2$ と仮定して式-(9)から求めたものであり実験の結果と比較的良好一致する。

分岐流に関する既往の資料によれば $(P_{1b} - P_3) / \rho V_3^2$ の値は分流量比 Q_4 / Q_3 により変化することが知られており、この値を一定とすることは若干の問題があるが、今回の実験では $(P_{1b} - P_3) / \rho V_3^2$ と流量比の間に一定の関係を見出すことはできなかった。この点については今後実験精度を上げて検討を行なう必要がある。しかし、実用的には $(P_{1b} - P_3) / \rho V_3^2$ を一定としても立坑送排換気の問題となる流量比の範囲では満足すべき精度で圧力上昇を計算することができるものと考えられる。

5.3 通り抜け、短絡風量

通り抜け、短絡風量についての測定結果は表-4に示すとおりであり、立坑送排部前後の車道の圧力バランスにより決まっている。すなわち、出口部風量調節板を調節して出口側車道の圧力を上げる(出口開度 $4/5$, $4.5/5$)と短絡が生じ、出口開度を全開とすれば通り抜けが生じている。これは、立坑送排部前後車道の圧力を考慮し、送気による圧力上昇量を吹き出し風速を変えるなどして調整すれば短絡、通り抜け風量をコントロールすることができ、また、送気による圧力上昇の調整のみでは圧力バランスを得られない場合は車道の延長等諸元を適当に設計し必要なバランスを得て短絡、通り抜け風量を最適値に設計することは可能である²⁾を意味している。

吹き出し糸による観測によれば、排気口あるいは送気口から車道巾の1.5倍程度離れると流れはほぼ様な流れとなり特に大きな乱れは認められなかった。

通り抜け、短絡風量は、送排気口間の車道部の損失を無視すると、式-(3)および式-(7)において $P_{1b} = P_{1e}$ として整理することにより求められる。すなわち、立坑送排気口間の圧力差 $P_2 - P_3$ は次式となる。

$$P_2 - P_3 = \rho V_0^2 \left(\frac{A_0}{A_1} \right) \left\{ k_b \cos \theta_0 - \left(\frac{A_0}{A_1} \right) - 2 \left(\frac{V_1}{V_0} \right) \right\} - \rho V_4^2 \left(\frac{A_4}{A_1} \right) \left\{ k_e - \left(\frac{A_4}{A_1} \right) - 2 \left(\frac{V_1}{V_4} \right) \right\} \dots\dots\dots (10)$$

一方、 P_2 および P_3 は車道部の圧力損失であるから

$$P_2 = \left(\zeta_0 + \lambda_0 \frac{l_0}{d_0} \right) \cdot \frac{1}{2} \rho V_2^2 = \left(\zeta_0 + \lambda_0 \frac{l_0}{d_0} \right) \cdot \frac{1}{2} \rho \left\{ \left(\frac{A_0}{A_1} \right) V_0 + V_1 \right\}^2 \dots\dots\dots (11)$$

$$P_3 = \left(1 + \zeta_e + \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \right) \cdot \frac{1}{2} \rho V_3^2 = \left(1 + \zeta_e + \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \right) \cdot \frac{1}{2} \rho \left\{ \left(\frac{A_4}{A_1} \right) V_4 + V_1 \right\}^2 \dots\dots\dots (12)$$

となる。式(10)に式(11)および式(12)を代入すると V_1 に関する 2 次方程式が得られ、 V_0, V_1 すなわち、吹き出し風速および排気風速を与えれば、通り抜け、短絡風速 V_1 を求めることができる。

V_1 が得られれば式(11)、式(12)等により車道部各点の圧力を求めることができる。

実験から求められた k_b および k_e を用いて V_1 および 各点の圧力を計算すると表-5の結果を得る。表-5には実測値も併記してあるが、計算の結果は実測値と比較的良く合っていることがわかる。図-6には圧力に関する計算値を記号でプロットしてある。なお、 k_e の値は分合流量と 車道流量の比の関数であるので、計算では k_e をトライアルにより決めてゆく必要がある。

表-5 計算値と実測値の比較

| 実験番号 | V ₁ | | P ₃ | | P _{1b} | | P ₂ | | P ₀ | | 実験番号 | V ₁ | | P ₃ | | P _{1b} | | P ₂ | | P ₀ | |
|-------|----------------|-------|----------------|-------|-----------------|--------|----------------|------|----------------|------|-------|----------------|-------|----------------|-------|-----------------|--------|----------------|------|----------------|------|
| | 計算値 | 実測値 | 計算値 | 実測値 | 計算値 | 実測値 | 計算値 | 実測値 | 計算値 | 実測値 | | 計算値 | 実測値 | 計算値 | 実測値 | 計算値 | 実測値 | 計算値 | 実測値 | 計算値 | 実測値 |
| 1-1-1 | -0.62 | -0.50 | -1.85 | -1.4 | -1.34 | -0.97 | 2.02 | 2.2 | 1.53 | 1.6 | 2-1-1 | -0.67 | -0.55 | -2.13 | -1.4 | -1.54 | -0.93 | 2.32 | 2.8 | 1.75 | 2.1 |
| 1-1-2 | -1.05 | -1.20 | -5.20 | -4.5 | -3.77 | -3.37 | 5.66 | 6.3 | 4.29 | 4.5 | 2-1-2 | -1.03 | -1.12 | -5.00 | -4.5 | -3.62 | -3.12 | 5.44 | 6.4 | 4.12 | 4.6 |
| 1-1-3 | -1.36 | -1.70 | -8.68 | -7.6 | -6.30 | -5.80 | 9.45 | 10.1 | 7.15 | 7.2 | 2-1-3 | -1.35 | -1.65 | -8.63 | -7.8 | -6.26 | -5.47 | 9.39 | 10.4 | 7.11 | 7.6 |
| 1-1-4 | -1.95 | -2.40 | -17.91 | -15.6 | -12.99 | -11.60 | 19.49 | 19.3 | 14.75 | 14.4 | 2-1-4 | -1.97 | -2.40 | -18.24 | -16.1 | -13.23 | -12.00 | 19.85 | 20.2 | 15.03 | 15.0 |
| 1-1-5 | -2.06 | -2.50 | -19.95 | -18.4 | -14.47 | -14.10 | 21.71 | 23.4 | 16.44 | 16.2 | 2-1-5 | -2.08 | -2.60 | -20.39 | -19.2 | -14.79 | -14.55 | 22.19 | 24.3 | 16.80 | 18.3 |
| 1-1-6 | -2.08 | -2.60 | -20.39 | -19.3 | -14.79 | -14.52 | 22.19 | 24.2 | 16.80 | 17.0 | 2-1-6 | -2.11 | -2.65 | -21.02 | -19.9 | -15.24 | -15.07 | 22.87 | 25.2 | 17.31 | 18.7 |
| 1-2-1 | -0.38 | -0.20 | -2.99 | -2.5 | -2.17 | -1.85 | 2.02 | 2.2 | 1.23 | 1.3 | 2-2-1 | -0.35 | 0.15 | -2.61 | -2.1 | -1.89 | -1.40 | 1.76 | 2.0 | 1.07 | 1.1 |
| 1-2-2 | -0.53 | -0.49 | -5.99 | -5.5 | -4.34 | -3.77 | 4.05 | 4.5 | 2.47 | 2.4 | 2-2-2 | -0.54 | -0.44 | -6.18 | -5.6 | -4.48 | -3.98 | 4.18 | 4.6 | 2.54 | 2.6 |
| 1-2-3 | -0.69 | -0.75 | -9.93 | -9.1 | -7.20 | -6.45 | 6.72 | 7.3 | 4.09 | 4.1 | 2-2-3 | -0.68 | -0.65 | -9.72 | -9.1 | -7.05 | -6.45 | 6.57 | 7.1 | 4.00 | 4.0 |
| 1-2-4 | -0.99 | -1.10 | -20.44 | -19.1 | -14.83 | -13.77 | 13.82 | 14.6 | 8.42 | 8.0 | 2-2-4 | -1.00 | -1.05 | -20.85 | -19.8 | -15.13 | -14.22 | 14.10 | 14.8 | 8.59 | 8.3 |
| 1-2-5 | -1.05 | -1.25 | -22.84 | -22.6 | -16.57 | -16.32 | 15.44 | 16.9 | 9.40 | 9.4 | 2-2-5 | -1.06 | -1.15 | -23.38 | -23.6 | -16.96 | -17.20 | 15.81 | 16.9 | 9.63 | 9.7 |
| 1-2-6 | -1.06 | -1.29 | -23.41 | -23.5 | -16.98 | -16.95 | 15.83 | 17.3 | 9.64 | 9.6 | 2-2-6 | -1.08 | -1.28 | -24.16 | -24.7 | -17.52 | -18.55 | 16.33 | 18.2 | 9.95 | 9.9 |
| 1-3-1 | 0.09 | 0.25 | -3.35 | -2.9 | -2.43 | -1.82 | 0.88 | 1.1 | 0.00 | 0.7 | 2-3-1 | 0.08 | 0.25 | -3.18 | -2.7 | -2.30 | -1.77 | 0.84 | 1.2 | 0.00 | 0.2 |
| 1-3-2 | 0.13 | 0.23 | -7.08 | -6.4 | -5.14 | -4.38 | 1.87 | 2.4 | 0.00 | 0.1 | 2-3-2 | 0.12 | 0.33 | -6.79 | -6.5 | -4.92 | -4.28 | 1.79 | 2.6 | 0.00 | 0.1 |
| 1-3-3 | 0.16 | 0.22 | -11.49 | -10.9 | -8.33 | -7.50 | 3.03 | 3.8 | 0.00 | 0.1 | 2-3-3 | 0.17 | 0.20 | -11.98 | -11.4 | -8.69 | -7.87 | 3.16 | 3.9 | 0.00 | 0.2 |
| 1-3-4 | 0.24 | 0.40 | -24.26 | -23.6 | -17.59 | -16.58 | 6.41 | 7.6 | 0.00 | 0.1 | 2-3-4 | 0.24 | 0.46 | -24.78 | -24.5 | -17.97 | -17.25 | 6.54 | 7.7 | 0.00 | 0.1 |
| 1-3-5 | 0.25 | 0.37 | -26.96 | -27.5 | -19.56 | -19.48 | 7.12 | 8.9 | 0.00 | 0. | 2-3-5 | 0.26 | 0.47 | -27.83 | -29.2 | -20.19 | -20.72 | 7.35 | 9.2 | 0.00 | 0. |
| 1-3-6 | 0.26 | 0.36 | -27.67 | -28.6 | -20.07 | -20.37 | 7.31 | 9.2 | 0.00 | 0. | 2-3-6 | 0.26 | 0.47 | -28.88 | -30.7 | -20.94 | -21.68 | 7.63 | 9.6 | 0.00 | 0.1 |
| 1-4-1 | -0.43 | -0.52 | -1.67 | -1.8 | -1.21 | -1.30 | 4.09 | 4.1 | 3.10 | 2.7 | 2-4-1 | 0.37 | -0.46 | -1.37 | -1.5 | -0.99 | -1.13 | 3.75 | 3.5 | 2.84 | 2.7 |
| 1-4-2 | -0.67 | -0.66 | -4.43 | -4.4 | -3.21 | -3.27 | 12.29 | 13.1 | 9.30 | 9.0 | 2-4-2 | -0.65 | -0.70 | -4.51 | -4.7 | -3.27 | -3.37 | 14.00 | 15.0 | 10.60 | 11.1 |
| 1-4-3 | -0.80 | -0.85 | -6.95 | -7.1 | -5.04 | -5.13 | 22.14 | 23.4 | 16.76 | 16.5 | 2-4-3 | -0.82 | -0.90 | -7.17 | -6.7 | -5.20 | -4.95 | 22.87 | 27.4 | 17.32 | 16.9 |
| 1-4-4 | -1.02 | -1.35 | -10.27 | -10.0 | -7.45 | -7.15 | 29.07 | - | 22.01 | - | 2-4-4 | -1.00 | -1.20 | -10.41 | -9.4 | -7.55 | -6.88 | 32.02 | - | 24.24 | 25.0 |
| 1-5-1 | 0.03 | -0.14 | -2.34 | -2.5 | -1.69 | -1.75 | 3.15 | 3.2 | 1.92 | 1.6 | 2-5-1 | 0.14 | 0.14 | -1.60 | -2.1 | -1.16 | -1.38 | 0.27 | 2.5 | 1.69 | 1.4 |
| 1-5-2 | 0.37 | 0.65 | -6.30 | -6.7 | -4.57 | -4.50 | 12.00 | 13.0 | 7.31 | 7.0 | 2-5-2 | 0.32 | 0.56 | -5.77 | -6.4 | -4.19 | -4.25 | 10.63 | 11.2 | 6.47 | 6.2 |
| 1-5-3 | 0.44 | 0.66 | -8.90 | -9.4 | -6.45 | -6.52 | 17.02 | 17.7 | 10.36 | 9.6 | 2-5-3 | 0.47 | 0.70 | -9.05 | -9.2 | -6.56 | -6.48 | 17.57 | 17.5 | 10.70 | 9.9 |
| 1-5-4 | 0.55 | 0.88 | -11.76 | -12.7 | -8.53 | -8.87 | 23.07 | - | 14.05 | 14.5 | 2-5-4 | 0.51 | 0.80 | -12.06 | -12.9 | -8.74 | -9.00 | 22.83 | 24.8 | 13.91 | 14.3 |
| 1-6-1 | 0.84 | 0.80 | -2.90 | -3.0 | -2.10 | -1.93 | 1.63 | 1.8 | 0.00 | -0.1 | 2-6-1 | 0.95 | 0.82 | -2.59 | -3.0 | -1.88 | -1.97 | 1.70 | 1.7 | 0.00 | -0.1 |
| 1-6-2 | 2.07 | 2.40 | -8.51 | -8.7 | -6.17 | -5.67 | 2.59 | 7.6 | 0.00 | -0.3 | 2-6-2 | 2.10 | 2.50 | -8.22 | -8.7 | -5.96 | -5.85 | 6.58 | 7.5 | 0.00 | -0.4 |
| 1-6-3 | 2.65 | 3.10 | -10.91 | -11.4 | -7.92 | -7.60 | 9.59 | 11.5 | 0.00 | -0.2 | 2-6-3 | 2.58 | 3.10 | -11.39 | -11.6 | -8.26 | -7.87 | 9.55 | 11.1 | 0.00 | -0.5 |
| 1-6-4 | 3.00 | 3.70 | -13.34 | -14.5 | -9.67 | -9.88 | 12.05 | 15.4 | 0.00 | -0.7 | 2-6-4 | 2.84 | 3.50 | -14.77 | -14.8 | -10.72 | -10.48 | 11.91 | 14.9 | 0.00 | -0.6 |
| 1-7-1 | -0.30 | 0.06 | -2.59 | -2.2 | -1.88 | -1.67 | 0.42 | 0.3 | 0.00 | -0.2 | 2-7-1 | -0.26 | -0.06 | -2.93 | -2.5 | -2.12 | -1.83 | 0.51 | 0.5 | 0.00 | -0.2 |
| 1-7-2 | -0.30 | -0.22 | -6.49 | -6.1 | -4.71 | -4.38 | 1.22 | 1.5 | 0.00 | -0.2 | 2-7-2 | -0.33 | -0.22 | -6.67 | -6.3 | -4.84 | -4.43 | 1.23 | 1.5 | 0.00 | -0.1 |
| 1-7-3 | -0.55 | -0.24 | -11.20 | -10.8 | -8.12 | -7.53 | 1.93 | 2.4 | 0.00 | -0.1 | 2-7-3 | -0.55 | -0.24 | -11.20 | -10.6 | -8.12 | -7.52 | 1.93 | 2.0 | 0.00 | -0.1 |
| 1-7-4 | -0.89 | -0.31 | -22.94 | -21.9 | -16.64 | -15.67 | 3.78 | 5.3 | 0.00 | -0.1 | 2-7-4 | -0.89 | -0.32 | -23.58 | -22.9 | -17.10 | -16.17 | 3.90 | 5.5 | 0.00 | 0. |
| 1-7-5 | -0.63 | -0.40 | -26.60 | -26.5 | -19.29 | -18.65 | 4.99 | 6.4 | 0.00 | -0.1 | 2-7-5 | -0.55 | -0.40 | -27.55 | -27.1 | -19.98 | -19.72 | 5.36 | 6.6 | 0.00 | -0.1 |
| 1-7-6 | -0.56 | -0.40 | -27.76 | -27.7 | -20.14 | -19.40 | 5.39 | 6.6 | 0.00 | 0. | 2-7-6 | -0.56 | -0.47 | -28.45 | -29.0 | -20.64 | -20.68 | 5.53 | 6.8 | 0.00 | 0. |

6. ま と め

本実験により立坑送排部の流れの基礎的挙動を把握することができ、噴流式圧力上昇機構を用いて短絡、通り抜け風量を制御することが十分可能であることが明らかとされた。実験から得られた主な事項は次の通りである。

- (1) 噴流式圧力上昇機構による圧力上昇は式-(3)あるいは式-(4)から求めることができ、 k_b の値はこの実験の場合0.9程度であった。
- (2) 排気による車道の圧力上昇は、通り抜け、短絡の場合とも統一的に式-(7)あるいは式-(8)から計算することができ、 k_e の値は図-11に示す値が得られた。また、 k_e は式-(9)において $(P_{1b} - P_3) / \rho V_3^2 = 0.2$ とおくと実験値と比較的良く合う結果が得られた。
- (3) 通り抜け、短絡風量は式-(10)を基本式として計算することができ、計算の結果は実験値と比較的良く一致する。

本実験は立坑送排部における車道の流れの問題に中心を置いて実施したが今後の問題としては、実施モデルでの送排気口の細部構造の検討、諸損失係数の確定、交通の影響に関する精度の向上、制御方法に関する検討などがある。