

狭隘道路に設置する公設消火栓の有効活用に関する検証 (スタンドパイプの活用による効果的な放水条件について)

渡邊 茂男*, 徳永 敦司*, 田中 守人*, 石井 剛*, 古澤 友典**

持田 春人***, 石井 文昭****, 山田 透*****

概 要

木造住宅密集地域内の狭隘道路下に埋設されている配水小管に消火栓を設置した際に、自主防災組織がスタンドパイプを活用して効果的な初期消火を実施することができる放水条件について検証した。その結果、屋内消火栓及びD級消防用動力ポンプによる放水時にしばしば使用される口径13ミリ相当の噴霧ノズルを用いることで、有効な放水が得られることが確認された。

1 はじめに

平成23年3月に発生した東日本大震災の教訓により、共助による地域連携体制の構築や、首都直下地震における同時多発災害に備えるため、自主防災組織等が地域の消防水利や軽可搬ポンプ等の資器材を有効に活用するための訓練のあり方が求められている。このことから、東京消防庁では木造住宅密集地域における自主防災組織等の実践的な水利や資器材の活用等について、モデル事業を実施するとともに検証を行っている。本稿は、木造密集地域内の狭隘道路下に埋設されている配水小管に消火栓を設置した際に、自主防災組織がスタンドパイプを活用して効果的な初期消火を実施することができる放水条件について検証した概要を報告する。

2 検証方法

検証は、想定されるホース呼び径とその延長本数、ノズルの種類、消火栓圧をパラメータとして放水条件を設定し、各放水条件での放水量、ノズル根元圧力(以下「ノズル元圧」という。)、及び放水の到達階(以下「到達階」という。)から最も効果的な放水条件を検証した。

3 実験

(1) 日時

平成23年9月7日(木)9時00分から16時00分

(2) 場所

東京消防庁世田谷消防署(世田谷区三軒茶屋 2-33-21)

(3) 方法

ア 設定

設定状況を写真1に示す。模擬的に製作した配管口径75ミリの消火栓(以下「模擬消火栓」という。)にスタンドパイプを設置し、そこからホースを延長して、訓練棟南側の壁面に向けて放水した。模擬消火栓への送水は、消防用ポンプ車(以下、「ポンプ車」という。)により行った。また、消火栓圧、ノズル元圧及び放水量を測定するため、写真1に示す位置に圧力変換器及び電磁流量計を設置した。なお、放水位置は、本検証が木造住宅密集地域における住宅火災に対する消火活動を想定していることから、第18期火災予防審議会地震対策部会で実施された実大規模火災に対する消火実験¹⁾でのD級可搬消防ポンプを用いた場合の放水位置を参考とし、放水目標までの水平距離を5.6mとした。一方、放水目標とした高さについては、昭和62年に建築基準法が改正され準防火地域での木造3階建の建設が可能となり、木造住宅密集地域においても木造3階建て住宅が増加していることから、地上3階部分(地上7.5m)への放水とした。各機材等の設定状況を写真2から写真6に示す。



写真1 設定状況

* 装備安全課 ** 水利課 *** 装備課 **** 世田谷消防署 ***** 防災安全課

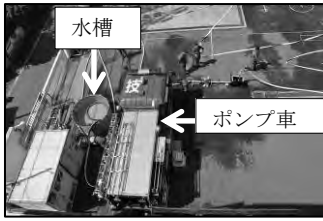


写真2 ポンプ車付近（吸水状況）

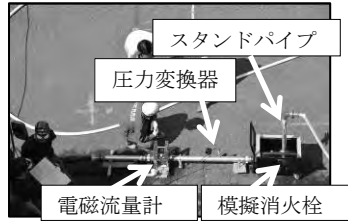


写真3 模擬消火栓付近



写真4 放水位置付近

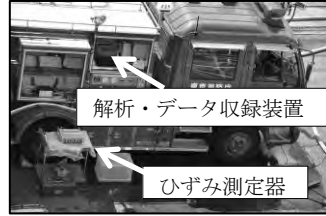


写真5 データ収録関係

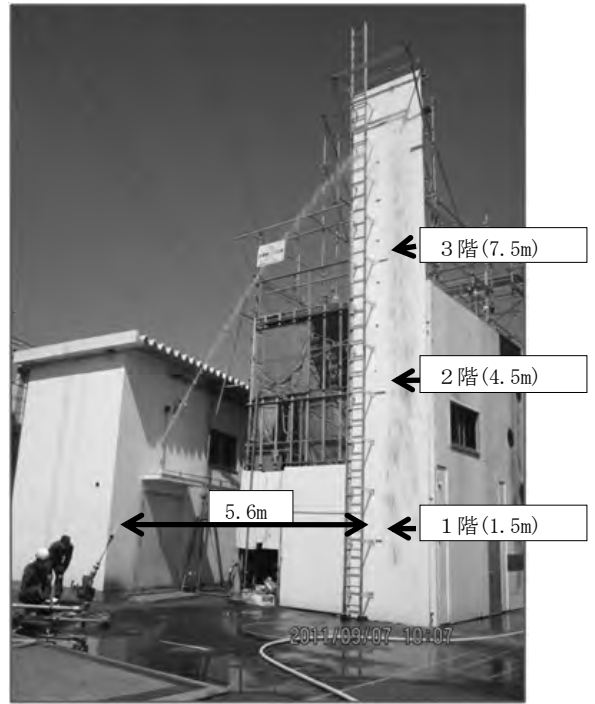


写真6 訓練棟（放水目標等）

イ 放水器具等

(ア) スタンドパイプ

スタンドパイプは、単口引上式（長さ 800 ミリ、口径 65 ミリ）のものを使用した。

(イ) 模擬消火栓

模擬消火栓は、水道用地下式消火栓（単口）に口径 75 ミリ配水小管の一部を組み合わせたもので、世田谷消防署で製作し訓練等で活用されているものを使用した。スタンスタンドパイプを模擬消火栓に組み込んだ状態を写真7に示す。

(ウ) ノズル

ノズルは、21型ノズル、21型改ノズル及び40ミリ噴霧ノズルを使用した。各ノズルの主な用途及びノズル口径を表1に示す。また、各ノズルの外観を写真8に示す。

(エ) ホース

ホースは、呼称40、呼称50及び呼称65の消防用ホースを使用した。各ホースの諸元等を表2に示す。

(オ) 放水条件

放水条件を表3に示す。実験は、各ホース及びホースの延長本数、ノズルを組み合わせ、消火栓圧を0.35 MPa から0.15 MPa まで0.05 MPa ごとに変化させた。



写真7 スタンドパイプ及び模擬消火栓

表1 ノズルの口径及び主な用途

ノズル	おもな用途	ノズル口径
21型ノズル	消防団による消防活動	21ミリ相当
21型改ノズル	消防隊による消防活動	
40ミリ噴霧ノズル	屋内消火栓及びD級ポンプによる消火活動等	13ミリ相当



21型ノズル 21型改ノズル 40ミリ噴霧ノズル

写真8 ノズル

表2 ホースの諸元等

ホース	主な用途	使用圧力 (MPa)	長さ (m/本)
呼称40	屋内消火栓（1号消火栓）	0.7	15
呼称50	消防活動	1.6	20
呼称65			

ウ 測定項目

(ア) 放水量

初期消火に有効な放水量が放水されているかどうかを検証するための資料とした。

(イ) ノズル元圧

自主防災組織の安全な放水活動に資するため、放水流による反動力算定の基礎データとした。

(ウ) 放水の到達階

木造住宅密集地域における火災において、建物の何階

まで放水が到達するのを確認し、効果的な放水条件を検証する基礎データとした。

エ 測定方法

実験は、表3の各実験No.ごとに所定のホース及びノズルを設定し、ポンプ車から所定の消火栓圧になるように送水した。電磁流量計と模擬消火栓の間に設置した圧力変換器からの電圧がひずみ測定器、データロガーを經由し解析・データ収録装置において所定の消火栓圧を示したことを確認したのち、各測定項目について同時に約30秒から1分程度測定を行った。測定に使用した機器等を表4に示す。

(4) 結果

各放水条件に基づき測定した結果一覧表を表5に、消火栓圧0.15メガパスカルにおける放水状況(写真)を写真9から写真14に、消火栓圧と放水量の関係を図1から図6に、消火栓圧とノズル元圧の関係を図7から図12に示す。各表及び図中の放水量及びノズル元圧は測定時間中のデータが安定した10秒間の平均値で示した。

ア 呼称40

(ア) 4本延長した場合

21型ノズル及び21型改ノズルを用いて放水した場合は、消火栓圧0.35、0.30及び0.25MPaに

表3 放水条件

実験NO.	ホース	ノズル	消火栓圧(MPa)	実験NO.	ホース	ノズル	消火栓圧(MPa)	実験NO.	ホース	ノズル	消火栓圧(MPa)			
1	呼称40	21型ノズル (口径21ミリ相当)	0.35	31	呼称50	21型ノズル (口径21ミリ相当)	0.35	61	呼称65	21型ノズル (口径21ミリ相当)	0.35			
2			0.30	32			0.30	62			0.30			
3			0.25	33			0.25	63			0.25			
4			0.20	34			0.20	64			0.20			
5			0.15	35			0.15	65			0.15			
6		4本 (60m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.35		36	4本 (80m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)		0.35	66	4本 (80m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.35
7				0.30		37				0.30	67			0.30
8				0.25		38				0.25	68			0.25
9				0.20		39				0.20	69			0.20
10				0.15		40				0.15	70			0.15
11		4本 (60m)	40ミリ噴霧ノズル (口径13ミリ相当)	0.35		41	4本 (80m)	40ミリ噴霧ノズル (口径13ミリ相当)		0.35	71	4本 (80m)	40ミリ噴霧ノズル (口径13ミリ相当)	0.35
12				0.30		42				0.30	72			0.30
13				0.25		43				0.25	73			0.25
14				0.20		44				0.20	74			0.20
15				0.15		45				0.15	75			0.15
16	呼称40	21型ノズル (口径21ミリ相当)	0.35	46	呼称50	21型ノズル (口径21ミリ相当)	0.35	76	呼称65	21型ノズル (口径21ミリ相当)	0.35			
17			0.30	47			0.30	77			0.30			
18			0.25	48			0.25	78			0.25			
19			0.20	49			0.20	79			0.20			
20			0.15	50			0.15	80			0.15			
21		3本 (45m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.35		51	3本 (60m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)		0.35	81	3本 (60m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.35
22				0.30		52				0.30	82			0.30
23				0.25		53				0.25	83			0.25
24				0.20		54				0.20	84			0.20
25				0.15		55				0.15	85			0.15
26		3本 (45m)	40ミリ噴霧ノズル (口径13ミリ相当)	0.35		56	3本 (60m)	40ミリ噴霧ノズル (口径13ミリ相当)		0.35	86	3本 (60m)	40ミリ噴霧ノズル (口径13ミリ相当)	0.35
27				0.30		57				0.30	87			0.30
28				0.25		58				0.25	88			0.25
29				0.20		59				0.20	89			0.20
30				0.15		60				0.15	90			0.15

表 4 測定機器等

測定項目等	測定機器等
放水量	電磁流量計 愛知時計電機社製 TAV065V-30UEFVF (精度±0.5%)
ノズル元圧	圧力変換器 共和電業社製 PG-20KU
	ひずみ測定器 共和電業社製 DPM-713B
放水の到達階	目視及びビデオカメラ 三洋電機社製 DMX-CA9
その他	データロガー 岩田電業社製 DATABIRD AIM2000 (サンプリング周期 1秒で計測)
	解析・データ収録装置 富士通社製 LIFEBOOK AH700/5B
	解析ソフト 岩田電業社製 DATABIRD AIM1.0)

において1階への放水が最大であり、2階以上への放水は困難であった。また、消火栓圧が0.20MPa以下では1階への放水が困難な結果となった。消火栓圧0.35～0.15MPaにおける放水量及びノズル元圧は、毎分227～144L、0.08～0.04MPaであった。一方、40ミリ噴霧ノズルを用いて放水した場合は、今回想定したすべての消火栓圧で3階へ放水することができた。消火栓圧0.35～0.15MPaにおける放水量及びノズル元圧は、毎分114～71L、0.28～0.12MPaであり、21型及び21型改ノズルと比較して勢いのある放水が観察された。

(イ) 3本延長した場合

21型ノズル及び21型改ノズルを用いた場合は、消火栓圧0.35及び0.30MPaにおいて2階への放水が最大であり、3階への放水は困難であった。また、消火栓圧0.25及び0.20MPaでは1階への放水が最大であったが、消火栓圧0.15MPaでは1階への放水が困難な結果となった。消火栓圧0.35～0.15MPaにおける放水量及びノズル元圧は、毎分261～163L、0.10～0.05MPaであった。一方、40ミリ噴霧ノズルを用いて放水した場合は、今回想定したすべての消火栓圧で3階へ放水することができた。消火栓圧0.35～0.15MPaにおける放水量及びノズル元圧は、毎分116～73L、0.29～0.13MPaであり、21型及び21型改ノズルと比較して勢いのある放水が観察された。

イ 呼称50

(ア) 4本延長した場合

21型ノズル及び21型改ノズルを用いた場合は、消火栓圧0.35及び0.30MPaで3階への放水が可能であった。また、消火栓圧0.25及び0.20MPaでは2階への放水が、さらに消火栓圧0.15MPaでは1階への放水が最大であった。消火栓圧0.35～0.15MPaにおける放水量及びノズル元圧は、毎分347～

215L、0.15～0.07MPaであった。一方、40ミリ噴霧ノズルを用いて放水した場合は、今回想定したすべての消火栓圧で3階へ放水することができた。消火栓圧0.35～0.15MPaにおける放水量及びノズル元圧は、毎分120～76L、0.31～0.14MPaであった。消火栓圧0.20及び0.15MPaでは、21型及び21型改ノズルと比較して勢いのある放水が観察された。

(イ) 3本延長した場合

21型ノズル及び21型改ノズルを用いた場合は、消火栓圧0.35～0.25MPaで3階への放水が可能であった。また、消火栓圧0.20MPaでは2階への放水が、消火栓圧0.15MPaでは1階への放水が可能であった。消火栓圧0.35～0.15MPaにおける放水量及びノズル元圧は、毎分367～234L、0.17～0.07MPaであった。一方、40ミリ噴霧ノズルを用いて放水した場合は、今回想定したすべての消火栓圧で3階へ放水することができた。消火栓圧0.35～0.15MPaにおける放水量及びノズル元圧は、毎分121～76L、0.32～0.14MPaであった。消火栓圧0.20及び0.15MPaでは、21型及び21型改ノズルと比較して勢いのある放水が観察された。

ウ 呼称65

(ア) 4本延長した場合

21型ノズル及び21型改ノズルを用いた場合は、消火栓圧0.35～0.20MPaで3階への放水が可能であった。また、消火栓圧0.15MPaでは2階への放水が可能であった。消火栓圧0.35～0.15MPaにおける放水量及びノズル元圧は、毎分426～271L、0.22～0.10MPaであった。一方、40ミリ噴霧ノズルを用いて放水した場合は、今回想定したすべての消火栓圧で3階へ放水することができた。消火栓圧0.35～0.15MPaにおける放水量及びノズル元圧は、毎分126～80L、0.33～0.14MPaであった。

(イ) 3本延長した場合

21型ノズル及び21型改ノズルを用いた場合は、消火栓圧0.35～0.20MPaで3階への放水が可能であった。また、消火栓圧0.15MPaでは2階への放水が可能であった。消火栓圧0.35～0.15MPaにおける放水量及びノズル元圧は、毎分445～280L、0.23～0.10MPaであった。一方、40ミリ噴霧ノズルを用いて放水した場合は、今回想定したすべての消火栓圧で3階へ放水することができた。消火栓圧0.35～0.15MPaにおける放水量及びノズル元圧は、毎分126～80L、0.33～0.14MPaであった。

表 5 測定結果一覧表

実験 NO.	ホース	ノズル	消火栓圧 (MPa)	放水量 (L/min)	ノズル元圧 (MPa)	到達階 (階)	実験 NO.	ホース	ノズル	消火栓圧 (MPa)	放水量 (L/min)	ノズル元圧 (MPa)	到達階 (階)	実験 NO.	ホース	ノズル	消火栓圧 (MPa)	放水量 (L/min)	ノズル元圧 (MPa)	到達階 (階)	
1	4本 (60m)	21型ノズル (口径21mm/相当)	0.35	225	0.08	1	31	4本 (60m)	21型ノズル (口径21mm/相当)	0.35	347	0.15	3	61	4本 (60m)	21型ノズル (口径21mm/相当)	0.35	426	0.21	3	61
2			0.30	211	0.07	1	32			0.30	392	0.18	3	62							
3			0.25	191	0.06	1	33			0.25	353	0.15	3	63							
4			0.20	169	0.05	×	34			0.20	316	0.12	3	64							
5			0.15	144	0.04	×	35			0.15	272	0.10	2	65							
6	4本 (60m)	21型改ノズル (口径21mm/相当)	0.35	227	0.08	1	36	4本 (60m)	21型改ノズル (口径21mm/相当)	0.35	336	0.15	3	66	4本 (60m)	21型改ノズル (口径21mm/相当)	0.35	418	0.22	3	66
7			0.30	211	0.07	1	37			0.30	386	0.19	3	67							
8			0.25	190	0.06	1	38			0.25	349	0.16	3	68							
9			0.20	171	0.05	×	39			0.20	312	0.12	3	69							
10			0.15	144	0.04	×	40			0.15	271	0.10	2	70							
11	40ミリ噴霧ノズル (口径13mm/相当)	40ミリ噴霧ノズル (口径13mm/相当)	0.35	114	0.28	3	41	40ミリ噴霧ノズル (口径13mm/相当)	40ミリ噴霧ノズル (口径13mm/相当)	0.35	126	0.33	3	71	40ミリ噴霧ノズル (口径13mm/相当)	40ミリ噴霧ノズル (口径13mm/相当)	0.35	126	0.33	3	71
12			0.30	103	0.24	3	42			0.30	116	0.29	3	72							
13			0.25	94	0.20	3	43			0.25	104	0.24	3	73							
14			0.20	84	0.16	3	44			0.20	91	0.19	3	74							
15			0.15	71	0.12	3	45			0.15	80	0.14	3	75							
16	呼称40	21型ノズル (口径21mm/相当)	0.35	258	0.09	2	46	呼称50	21型ノズル (口径21mm/相当)	0.35	367	0.16	3	76	呼称G5	21型ノズル (口径21mm/相当)	0.35	445	0.23	3	76
17			0.30	241	0.08	2	47			0.30	343	0.14	3	77							
18			0.25	217	0.07	1	48			0.25	309	0.12	3	78							
19			0.20	193	0.06	1	49			0.20	276	0.10	2	79							
20			0.15	164	0.05	×	50			0.15	236	0.08	2	80							
21	3本 (46m)	21型改ノズル (口径21mm/相当)	0.35	261	0.10	2	51	3本 (60m)	21型改ノズル (口径21mm/相当)	0.35	364	0.17	3	81	3本 (60m)	21型改ノズル (口径21mm/相当)	0.35	438	0.23	3	81
22			0.30	240	0.09	2	52			0.30	340	0.15	3	82							
23			0.25	213	0.07	1	53			0.25	307	0.12	3	83							
24			0.20	192	0.06	1	54			0.20	272	0.10	2	84							
25			0.15	163	0.05	×	55			0.15	234	0.07	1	85							
26	40ミリ噴霧ノズル (口径13mm/相当)	40ミリ噴霧ノズル (口径13mm/相当)	0.35	116	0.29	3	56	40ミリ噴霧ノズル (口径13mm/相当)	40ミリ噴霧ノズル (口径13mm/相当)	0.35	126	0.33	3	86	40ミリ噴霧ノズル (口径13mm/相当)	40ミリ噴霧ノズル (口径13mm/相当)	0.35	126	0.33	3	86
27			0.30	106	0.25	3	57			0.30	113	0.28	3	87							
28			0.25	96	0.21	3	58			0.25	103	0.23	3	88							
29			0.20	85	0.16	3	59			0.20	91	0.19	3	89							
30			0.15	73	0.13	3	60			0.15	76	0.14	3	90							



21型ノズル



21型改ノズル



40ミリ噴霧ノズル

写真9 呼称40 4本延長 消火栓圧0.15MPa



21型ノズル



21型改ノズル



40ミリ噴霧ノズル

写真10 呼称40 3本延長 消火栓圧0.15MPa



21型ノズル



21型改ノズル



40ミリ噴霧ノズル

写真11 呼称50 4本延長 消火栓圧0.15MPa



21型ノズル



21型改ノズル



40ミリ噴霧ノズル

写真12 呼称50 3本延長 消火栓圧0.15MPa



21型ノズル



21型改ノズル



40ミリ噴霧ノズル

写真13 呼称65 4本延長 消火栓圧0.15MPa



21型ノズル



21型改ノズル



40ミリ噴霧ノズル

写真14 呼称65 3本延長 消火栓圧0.15MPa

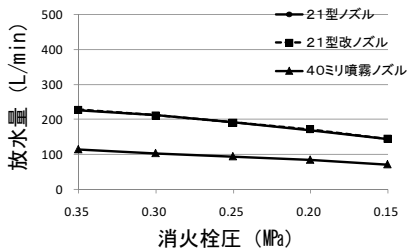


図1 呼称40 4本延長

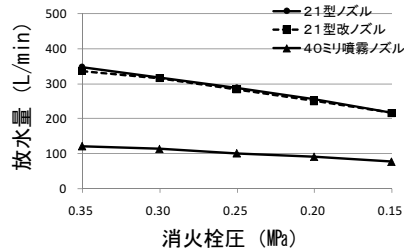


図2 呼称50 4本延長

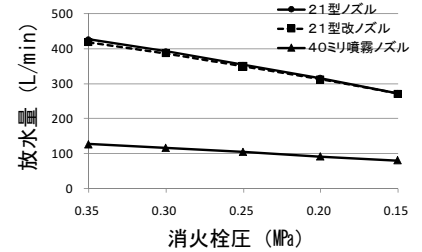


図3 呼称65 4本延長

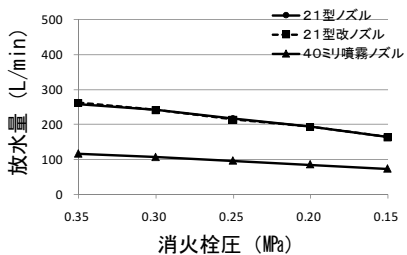


図4 呼称40 3本延長

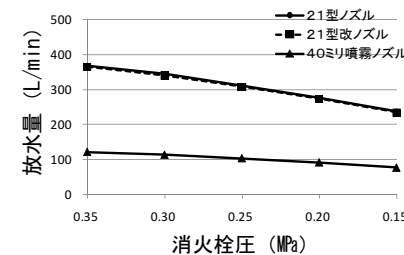


図5 呼称50 3本延長

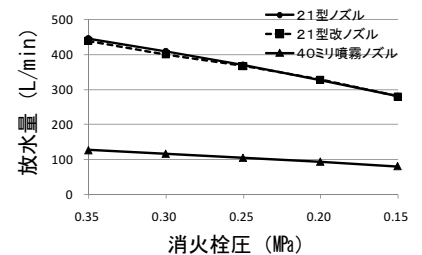


図6 呼称65 3本延長

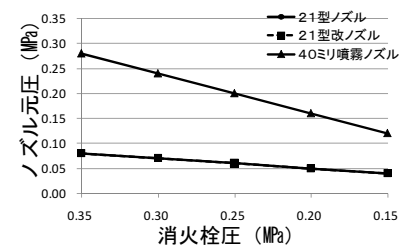


図7 呼称40 4本延長

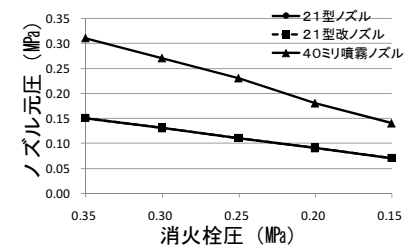


図8 呼称50 4本延長

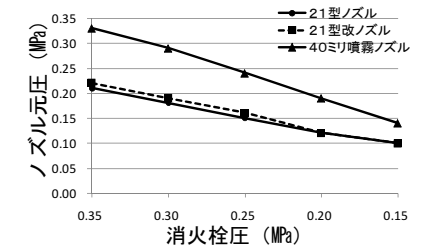


図9 呼称65 4本延長

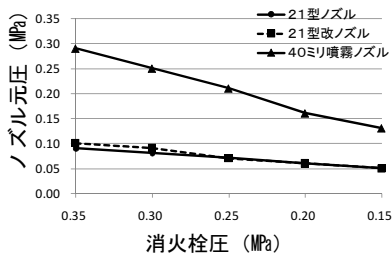


図10 呼称40 3本延長

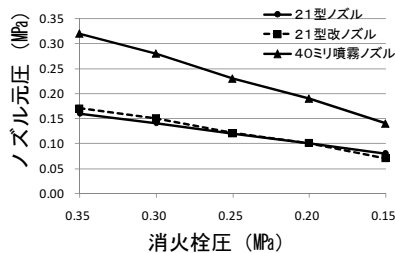


図11 呼称50 3本延長

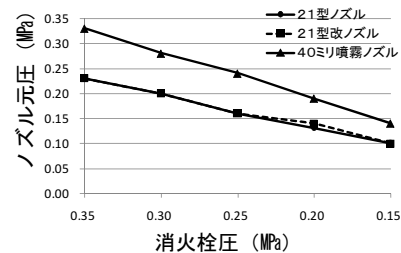


図12 呼称65 3本延長

(5) 考察

ア 放水量

消火栓圧と放水量の関係をノズルごとに整理した結果を図13から図18に示す。

放水量は、21型ノズル及び21型改ノズルの方が40ミリ噴霧ノズルと比較して多かった。

ノズルから噴出した水の持つ速度エネルギーが完全に動圧として測定されたとすると、 p を動圧 (N/m^2)、 γ を水の比重量 ($9800N/m^3$)、 v を流速 (m/s)、 g を重力加速度 ($9.8m/s^2$) とすると、

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{v^2}{2g}$$

より、

$$v = \sqrt{2g p / \gamma}$$

p の単位を(MPa)に変換すると

$$v = 44.7 \sqrt{p} \quad (m/s)$$

ノズルから噴出した水の動圧を正確に測定することは困難なので、ノズル口径を d_n (cm)、ノズル元圧を P (MPa)、流量係数 $C=C_c C_v=0.99$ (C_v :速度係数 0.99、 C_c :収縮係数 1) として放水量 Q (m^3/min) を近似的に求めると、 $Q=C A v$ ($A=\pi d_n^2/4$) より

$$Q \cong 0.2085 d_n^2 \sqrt{P}$$

となる。この式²⁾より、同じ消火栓圧で、同じ口径のホースを使用すれば、ノズル口径が大きい方が放水量は多くなる。21型及び21型改ノズルは口径21ミリ相当であり、40ミリ噴霧ノズルは口径13ミリ相当であることから、今回の実験において同じ消火栓圧で21型及び21型改ノズルの放水量が多くなるのはこのためである。また、21型ノズル及び21型改ノズルは、ホースの呼び径が大きくなるにつれ、放水量も多くなっているが、40ミリ噴霧ノズルについては、ホースの呼び径に関わらずほぼ一定の放水量となった。これは、40ミリ噴霧ノズルによる放水が21型及び21型改ノズルによる放水と比較して、ホース内部で発生する摩擦損失が小さいことによるものと考えられる。

ホース内部の摩擦損失は一般的に、

$$FL = \lambda \frac{L v^2}{d 2g}$$

FL : ホース内部の摩擦損失 (m Aq)

λ : ホース内部の摩擦係数

L : ホースの長さ (m)

d : ホースの内径 (m)

v : 流速 (m/s)

g : 重力加速度 (m/s^2)

であらわされ³⁾、

放水量 $Q = A v$ 、 $v^2 = (Q/A)^2$ 、 $A = \pi d^2/4$ より

$$FL = \lambda \frac{L Q^2}{0.617 \times d^5 \times 2 \times 9.8}$$

となり、ホースの摩擦損失はホースの長さと同流量の2乗に比例し、ホースの内径の5乗に反比例することがわかる。呼称40 長さ15m、呼称50及び呼称65 長さ20mのホースを使用した場合の摩擦損失は、ホースの摩擦係数 λ を表6とし、ホース内径 d を表7に示したホース内径の許容範囲の下限値とすると、

表6 摩擦係数⁴⁾

呼称	40	50	65
λ	0.0276	0.028	0.0313

表7 内径の許容範囲⁵⁾

呼称	40	50	65
内径	38~41mm	51~54mm	63.5~66.5mm

呼称40 長さ15mの場合

$$FL_{40} = 120.016 L Q^2 \quad (m Aq)$$

$$= 1.1766 L Q^2 \quad (MPa)$$

FL_{40} : 呼称40長さ15mホースの摩擦損失

L : ホースの本数 (本)

Q : 放水量 (m^3/min)

同様に呼称50 長さ20mの場合

$$FL_{50} = 37.250 L Q^2 \quad (m Aq)$$

$$= 0.3650 L Q^2 \quad (MPa)$$

FL50：呼称50長さ20mホースの摩擦損失
 L：ホースの本数（本）
 Q：放水量（m³/min）

呼称65 長さ20mの場合

$$FL65 = 13.945 L Q^2 \text{ (m Aq)}$$

$$= 0.1367 L Q^2 \text{ (MPa)}$$

FL65：呼称65長さ20mホースの摩擦損失
 L：ホースの本数（本）
 Q：放水量（m³/min）
 となる。

これらの計算式を用いて、各実験結果における放水量を用い摩擦損失を計算した結果（理論値）及び消火栓圧

からノズル元圧を差し引いて求めた結果（実験値）を表8に、消火栓圧と摩擦損失の関係を図19～図24に示す。

21型及び21型改ノズルを使用した場合のホース内部の摩擦損失は、40ミリ噴霧ノズルと比較して大きく、消火栓圧の減少とともにホース内部の摩擦損失も大きく減少している。一方、40ミリ噴霧ノズルを使用した場合のホース内部の摩擦損失は、消火栓圧の減少とともにホース内部の摩擦損失も若干減少する傾向が認められるが、21型及び21型改ノズルと比較すると、40ミリ噴霧ノズルによる放水においては、ホース内部の摩擦損失の影響は小さい。これは、前述したとおり摩擦損失が放水量の2乗に比例することから、放水量の少ない40ミリ噴霧ノズルの場合はホース内部の摩擦損失の影響を受けにくいものと考えられる。

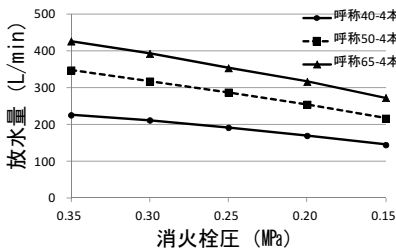


図13 21型ノズル

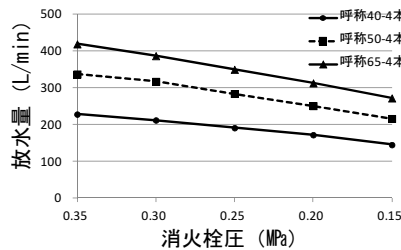


図14 21型改ノズル

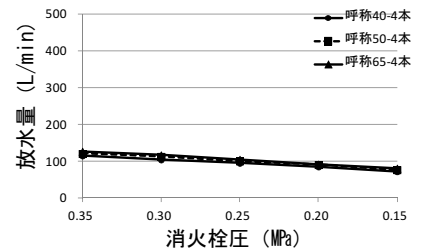


図15 40ミリ噴霧ノズル

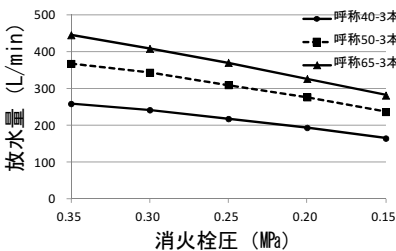


図16 21型ノズル

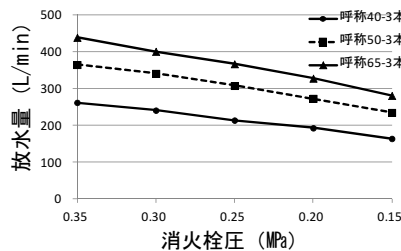


図17 21型改ノズル

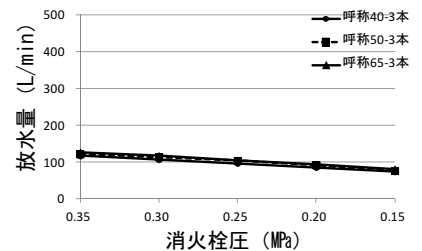


図18 40ミリ噴霧ノズル

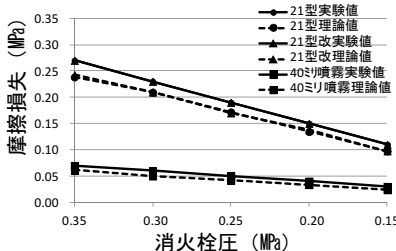


図19 呼称40 4本

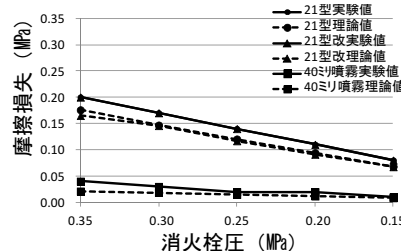


図20 呼称50 4本

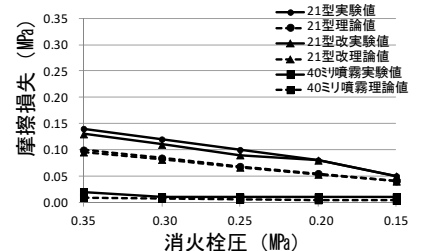


図21 呼称65 4本

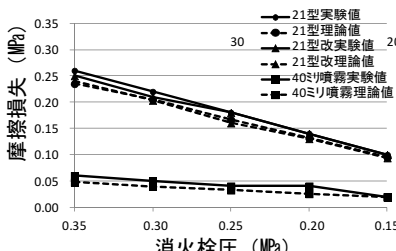


図22 呼称40 3本

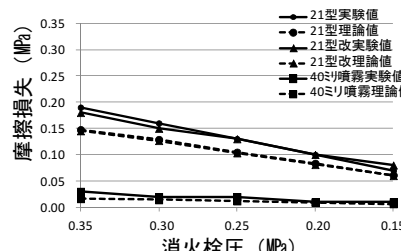


図23 呼称50 3本

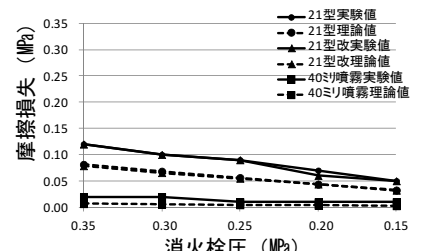


図24 呼称65 3本

表 8 各実験条件における摩擦損失

実験 NO.	ホース	ノズル	消火栓圧 (MPa)	放水量 (L/min)	ノズル元圧 (MPa)	到達階 (階)	摩擦損失 (実験値) (MPa)	摩擦損失 (理論値) (MPa)	実験 NO.	ホース	ノズル	消火栓圧 (MPa)	放水量 (L/min)	ノズル元圧 (MPa)	到達階 (階)	摩擦損失 (実験値) (MPa)	摩擦損失 (理論値) (MPa)	実験 NO.
1	4本 (60m)	2.1型ノズル (口径21mm/相違)	0.35	225	0.08	1	0.27	0.238	31	4本 (60m)	2.1型ノズル (口径21mm/相違)	0.35	347	0.15	3	0.20	0.176	61
2			0.30	211	0.07	1	0.23	0.210	32			0.30	317	0.13	3	0.17	0.147	62
3			0.25	191	0.06	1	0.19	0.172	33			0.25	287	0.11	2	0.14	0.120	63
4			0.20	169	0.05	×	0.15	0.134	34			0.20	254	0.09	2	0.11	0.094	64
5			0.15	144	0.04	×	0.11	0.098	35			0.15	216	0.07	1	0.08	0.068	65
6	4本 (60m)	2.1型改ノズル (口径21mm/相違)	0.35	227	0.08	1	0.27	0.243	36	4本 (60m)	2.1型改ノズル (口径21mm/相違)	0.35	336	0.15	3	0.20	0.165	66
7			0.30	211	0.07	1	0.23	0.210	37			0.30	316	0.13	3	0.17	0.146	67
8			0.25	190	0.06	1	0.19	0.170	38			0.25	283	0.11	2	0.14	0.117	68
9			0.20	171	0.05	×	0.15	0.138	39			0.20	250	0.09	2	0.11	0.091	69
10			0.15	144	0.04	×	0.11	0.098	40			0.15	215	0.07	1	0.08	0.067	70
11	4本 (60m)	40ミリ噴霧ノズル (口径40mm/相違)	0.35	114	0.28	3	0.07	0.061	41	4本 (60m)	40ミリ噴霧ノズル (口径40mm/相違)	0.35	120	0.31	3	0.04	0.021	71
12			0.30	103	0.24	3	0.06	0.050	42			0.30	112	0.27	3	0.03	0.018	72
13			0.25	94	0.20	3	0.05	0.042	43			0.25	100	0.23	3	0.02	0.015	73
14			0.20	84	0.16	3	0.04	0.033	44			0.20	90	0.18	3	0.02	0.012	74
15			0.15	71	0.12	3	0.03	0.024	45			0.15	76	0.14	3	0.01	0.008	75
16	呼称40	2.1型ノズル (口径21mm/相違)	0.35	258	0.09	2	0.26	0.235	46	呼称40	2.1型ノズル (口径21mm/相違)	0.35	367	0.16	3	0.19	0.147	76
17			0.30	241	0.08	2	0.22	0.205	47			0.30	343	0.14	3	0.16	0.129	77
18			0.25	217	0.07	1	0.18	0.166	48			0.25	309	0.12	3	0.13	0.105	78
19			0.20	193	0.06	1	0.14	0.131	49			0.20	276	0.10	2	0.10	0.083	79
20			0.15	164	0.05	×	0.10	0.095	50			0.15	236	0.08	2	0.07	0.061	80
21	呼称50	2.1型改ノズル (口径21mm/相違)	0.35	261	0.10	2	0.25	0.240	51	呼称50	2.1型改ノズル (口径21mm/相違)	0.35	364	0.17	3	0.18	0.145	81
22			0.30	240	0.09	2	0.21	0.203	52			0.30	340	0.15	3	0.15	0.127	82
23			0.25	213	0.07	1	0.18	0.160	53			0.25	307	0.12	3	0.13	0.103	83
24			0.20	192	0.06	1	0.14	0.130	54			0.20	272	0.10	2	0.10	0.081	84
25			0.15	163	0.05	×	0.10	0.094	55			0.15	234	0.07	1	0.08	0.060	85
26	呼称65	40ミリ噴霧ノズル (口径40mm/相違)	0.35	116	0.29	3	0.06	0.047	56	呼称65	40ミリ噴霧ノズル (口径40mm/相違)	0.35	126	0.32	3	0.03	0.016	86
27			0.30	106	0.25	3	0.05	0.040	57			0.30	113	0.28	3	0.02	0.014	87
28			0.25	96	0.21	3	0.04	0.033	58			0.25	103	0.23	3	0.02	0.012	88
29			0.20	85	0.16	3	0.04	0.026	59			0.20	91	0.19	3	0.01	0.009	89
30			0.15	73	0.13	3	0.02	0.019	60			0.15	76	0.14	3	0.01	0.006	90

実験値が理論値を上回ったことについては、実験場所の制約からホースを直線に延長せず蛇行させたことにより、摩擦損失が大きくなったものと考えられる。

イ 到達階（ノズル元圧）

表9に3階に到達した放水条件を示す。また、各ノズルごとにおける消火栓圧とノズル元圧の関係を示したグラフを図25から図30に示す。

呼称40では、21型及び21型改ノズルは3階に放水を到達させることができず、40ミリ噴霧ノズルのみ今回想定したすべての消火栓圧の条件で放水を3階に到達させることができた。また、呼称50及び65では、21型及び21型改ノズルは消火栓圧によっては3階へ放水を到達させることができなかったが、40ミリ噴霧ノズルの場合は今回想定したすべての消火栓圧で放水を3階に到達させることができた。これは、ノズル元圧の大きさの違いによりこのような結果となったものと考えられる。40ミリ噴霧ノズルの場合は21型及び21型改ノズルと比較して、ノズル元圧が高い。これは、消火栓圧が同じとした場合、21型及び21型改ノズルより40ミリ噴霧ノズルの方が放水量は少なく、ホース内部の摩擦損失が小さいことからノズル元圧が高い結果が得られたと考えられる。ノズル元圧はノズル出口で速度エネルギーに変わることから、40ミリ噴霧ノズルの場合は、放水量が少ないことからホース内部の摩擦損失も小さく、放水を3階へ到達させるだけのノズル元圧を確保できたと考えられる。

ウ 水流による反動カ

表10にノズルに生じる水流による反動力の計算結果を示す。また、図31から図36に各ノズルごとの消火栓圧と反動力の関係を示す。

21型及び21型改ノズルともに3階に放水が到達したときのノズルに作用した水流による反動力の最大値は155N（呼称65、延長本数3本、消火栓圧0.35MPa）

であった。一方、40ミリ噴霧ノズルの場合の最大反動力は85N（呼称65、延長本数3本、消火栓圧0.35MPa）であり、ホース呼び径が大きいほどまた消火栓圧が高いほど反動力は大きくなった。

ノズルからの水流による反動力 F (N) は、水の比重量 γ ($\gamma=9800\text{N/m}^3$)、重力加速度を g ($g=9.8\text{m/s}^2$)、ノズルの断面積(流れに直角に計る)を A (m^2)、流速を v (m/s)、流量係数を C ($C=0.99$) とすると、運動量の法則より、

$$\begin{aligned}
 F &= C \frac{\gamma}{g} A v^2 \\
 &= C \frac{\gamma}{g} Q v \\
 &= 0.99 \times 1000 \times \frac{(0.2085 d_n^2 \sqrt{P})}{60} \times 44.7 \sqrt{P} \\
 &= 153 d_n^2 P \quad (\text{N})
 \end{aligned}$$

d_n : ノズル口径 (cm)
 P : ノズル圧力 (MPa)

であらわされる⁶⁾ことから、ノズル口径の大きい21型及び21型改ノズルは40ミリ噴霧ノズルと比較して水流による反動力が大きくなる。

また、同じ消火栓圧において、21型及び21型改ノズルは40ミリ噴霧ノズルと比較して放水量が多いことからホース内部の摩擦損失の影響を大きく受け、ホースの呼び径ごとに反動力も大きく変化する。一方、40ミリ噴霧ノズルは、ホース内部の摩擦損失の影響が小さいことから、ホース呼び径ごとの反動力の差も小さくなる。

4 結論（自主防災組織がスタンドパイプを活用して効果的な初期消火を実施することができる放水条件）

(1) ノズル

今回の放水条件では、次のア及びイにより、40ミリ

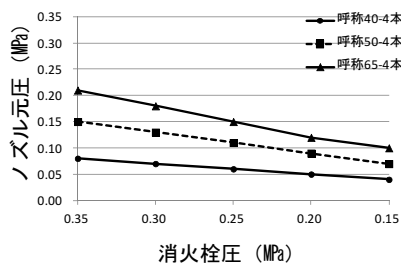


図25 21型ノズル

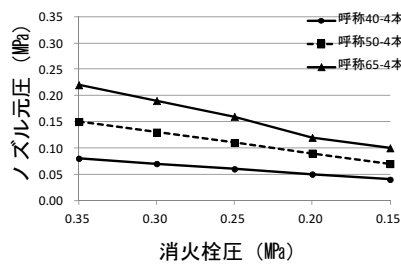


図26 21型改ノズル

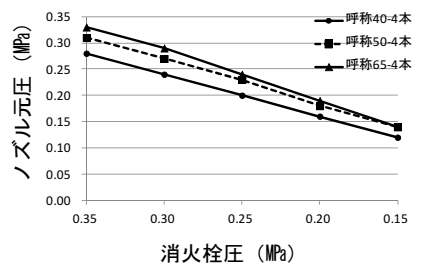


図27 40ミリ噴霧ノズル

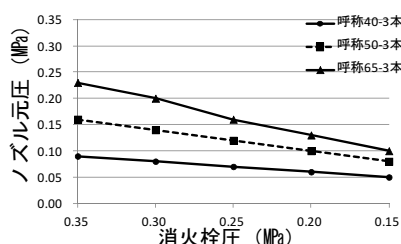


図28 21型ノズル

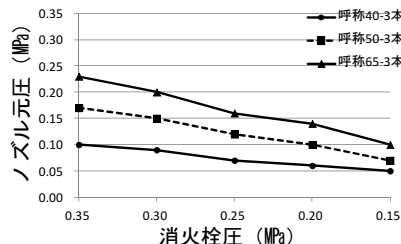


図29 21型改ノズル

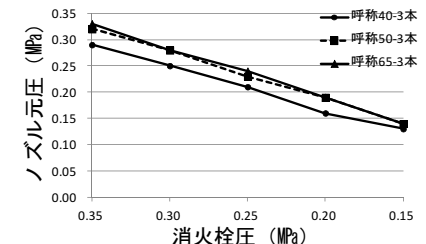


図30 40ミリ噴霧ノズル

表9 3階に到達した放水条件

実験 NO.	ホース	ノズル	消火栓圧 (MPa)	放水量 (L/min)	ノズル元圧 (MPa)	実験 NO.	ホース	ノズル	消火栓圧 (MPa)	放水量 (L/min)	ノズル元圧 (MPa)	実験 NO.	ホース	ノズル	消火栓圧 (MPa)	放水量 (L/min)	ノズル元圧 (MPa)
11	4本 (60m) 呼称40	40ミリ噴霧ノズル (口径13ミリ相当)	0.35	114	0.28	31	4本 (80m)	21型ノズル (口径21ミリ相当)	0.35	347	0.15	61	4本 (80m)	21型ノズル (口径21ミリ相当)	0.35	426	0.21
12			0.30	103	0.24	32		0.30	317	0.13	62	0.30			392	0.18	
13			0.25	94	0.20	36		0.35	336	0.15	63	0.25			353	0.15	
14			0.20	84	0.16	37		0.30	316	0.13	64	0.20			316	0.12	
15			0.15	71	0.12	41		0.35	120	0.31	66	0.35			418	0.22	
26	3本 (45m) 呼称50	40ミリ噴霧ノズル (口径13ミリ相当)	0.35	116	0.29	42	4本 (80m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.30	112	0.27	67	4本 (80m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.30	386	0.19
27			0.30	106	0.25	43			0.25	100	0.23	68			0.25	349	0.16
28			0.25	96	0.21	44			0.20	90	0.18	69			0.20	312	0.12
29			0.20	85	0.16	45			0.15	76	0.14	71			0.35	126	0.33
30			0.15	73	0.13	46			0.35	367	0.16	72			0.30	116	0.29
47	3本 (45m) 呼称65	21型ノズル (口径21ミリ相当)	0.30	343	0.14	73	3本 (45m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.30	340	0.15	76	3本 (45m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.35	445	0.23
48			0.25	309	0.12	74			0.25	309	0.12	74			0.20	91	0.19
51			0.35	364	0.17	75			0.35	364	0.17	75			0.15	80	0.14
52			0.30	340	0.15	76			0.30	340	0.15	76			0.35	445	0.23
53			0.25	307	0.12	77			0.25	307	0.12	77			0.30	408	0.20
56			0.35	121	0.32	78			0.35	121	0.32	78			0.25	370	0.16
57			0.30	113	0.28	79			0.30	113	0.28	79			0.20	326	0.13
58			0.25	103	0.23	81			0.25	103	0.23	81			0.35	438	0.23
59			0.20	91	0.19	82			0.20	91	0.19	82			0.30	400	0.20
60			0.15	76	0.14	83			0.15	76	0.14	83			0.25	366	0.16
84	40ミリ噴霧ノズル (口径13ミリ相当)	40ミリ噴霧ノズル (口径13ミリ相当)	0.35	126	0.33	86	40ミリ噴霧ノズル (口径13ミリ相当)	40ミリ噴霧ノズル (口径13ミリ相当)	0.35	126	0.33	86	40ミリ噴霧ノズル (口径13ミリ相当)	40ミリ噴霧ノズル (口径13ミリ相当)	0.35	126	0.33
87			0.30	116	0.28	87			0.30	116	0.28	87			0.30	116	0.28
88			0.25	104	0.24	88			0.25	104	0.24	88			0.25	104	0.24
89			0.20	93	0.19	89			0.20	93	0.19	89			0.20	93	0.19
90			0.15	80	0.14	90			0.15	80	0.14	90			0.15	80	0.14

表 10 水流による反動カ

実験 NO.	ホース	ノズル	消火栓圧 (MPa)	放水量 (L/min)	ノズル元圧 (MPa)	水流による反動カ (N)	実験 NO.	ホース	ノズル	消火栓圧 (MPa)	放水量 (L/min)	ノズル元圧 (MPa)	水流による反動カ (N)	実験 NO.	ホース	ノズル	消火栓圧 (MPa)	放水量 (L/min)	ノズル元圧 (MPa)	水流による反動カ (N)
1	4本 (60m)	21型ノズル (口径21ミリ相当)	0.35	225	0.08	54	31	4本 (60m)	21型ノズル (口径21ミリ相当)	0.35	347	0.15	101	61	4本 (60m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.35	426	0.21	142
2			0.30	211	0.07	47	32			0.30	317	0.13	88	62			0.30	392	0.18	121
3			0.25	191	0.06	40	33			0.25	287	0.11	74	63			0.25	353	0.15	101
4			0.20	169	0.05	34	34			0.20	254	0.09	61	64			0.20	316	0.12	81
5			0.15	144	0.04	27	35			0.15	216	0.07	47	65			0.15	272	0.10	67
6			0.35	227	0.08	54	36			0.35	336	0.15	101	66			0.35	418	0.22	148
7			0.30	211	0.07	47	37			0.30	316	0.13	88	67			0.30	386	0.19	128
8	4本 (60m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.25	190	0.06	40	38	4本 (60m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.25	283	0.11	74	68	4本 (60m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.25	349	0.16	108
9			0.20	171	0.05	34	39			0.20	250	0.09	61	69			0.20	312	0.12	81
10			0.15	144	0.04	27	40			0.15	215	0.07	47	70			0.15	271	0.10	67
11			0.35	114	0.28	72	41			0.35	120	0.31	80	71			0.35	126	0.33	85
12	4本 (60m)	40ミリ噴霧ノズル (口径19ミリ相当)	0.30	103	0.24	62	42	4本 (60m)	40ミリ噴霧ノズル (口径19ミリ相当)	0.30	112	0.27	70	72	4本 (60m)	40ミリ噴霧ノズル (口径19ミリ相当)	0.30	116	0.29	75
13			0.25	94	0.20	52	43			0.25	100	0.23	59	73			0.25	104	0.24	62
14			0.20	84	0.16	41	44			0.20	90	0.18	47	74			0.20	91	0.19	49
15			0.15	71	0.12	31	45			0.15	76	0.14	36	75			0.15	80	0.14	36
16	3本 (45m)	21型ノズル (口径21ミリ相当)	0.35	258	0.09	61	46	3本 (45m)	21型ノズル (口径21ミリ相当)	0.35	367	0.16	108	76	3本 (45m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.35	445	0.23	155
17			0.30	241	0.08	54	47			0.30	343	0.14	94	77			0.30	408	0.20	135
18			0.25	217	0.07	47	48			0.25	309	0.12	81	78			0.25	370	0.16	108
19			0.20	193	0.06	40	49			0.20	276	0.10	67	79			0.20	326	0.13	88
20	3本 (45m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.15	164	0.05	34	50	3本 (45m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.15	236	0.08	54	80	3本 (45m)	21型改ノズル (口径21ミリ相当)	0.15	281	0.10	67
21			0.35	261	0.10	67	51			0.35	364	0.17	115	81			0.35	438	0.23	155
22			0.30	240	0.09	61	52			0.30	340	0.15	101	82			0.30	400	0.20	135
23			0.25	213	0.07	47	53			0.25	307	0.12	81	83			0.25	366	0.16	108
24	40ミリ噴霧ノズル (口径19ミリ相当)	40ミリ噴霧ノズル (口径19ミリ相当)	0.20	192	0.06	40	54	40ミリ噴霧ノズル (口径19ミリ相当)	40ミリ噴霧ノズル (口径19ミリ相当)	0.20	272	0.10	67	84	40ミリ噴霧ノズル (口径19ミリ相当)	40ミリ噴霧ノズル (口径19ミリ相当)	0.20	327	0.14	94
25			0.15	163	0.05	34	55			0.15	234	0.07	47	85			0.15	280	0.10	67
26			0.35	116	0.29	75	56			0.35	121	0.32	83	86			0.35	126	0.33	85
27			0.30	106	0.25	65	57			0.30	113	0.28	72	87			0.30	116	0.28	72
28	40ミリ噴霧ノズル (口径19ミリ相当)	40ミリ噴霧ノズル (口径19ミリ相当)	0.25	96	0.21	54	58	40ミリ噴霧ノズル (口径19ミリ相当)	40ミリ噴霧ノズル (口径19ミリ相当)	0.25	103	0.23	59	88	40ミリ噴霧ノズル (口径19ミリ相当)	40ミリ噴霧ノズル (口径19ミリ相当)	0.25	104	0.24	62
29			0.20	85	0.16	41	59			0.20	91	0.19	49	89			0.20	93	0.19	49
30			0.15	73	0.13	34	60			0.15	76	0.14	36	90			0.15	80	0.14	36

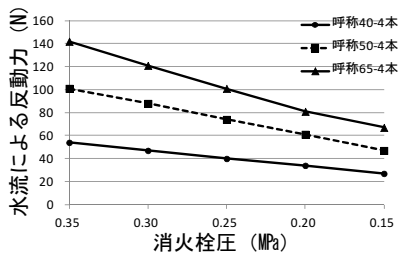


図 31 21型ノズル

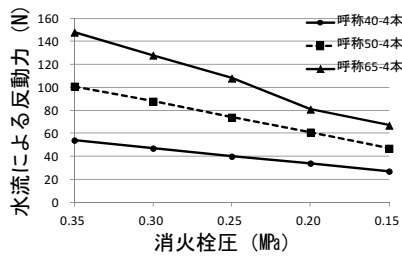


図 32 21型改ノズル

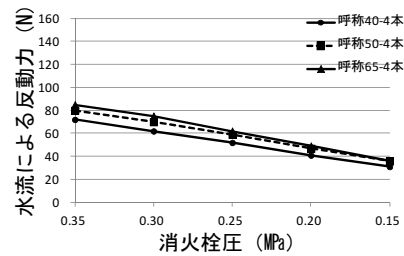


図 33 40ミリ噴霧ノズル

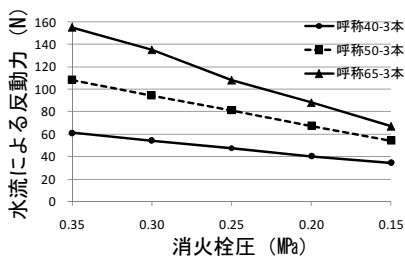


図 34 21型ノズル

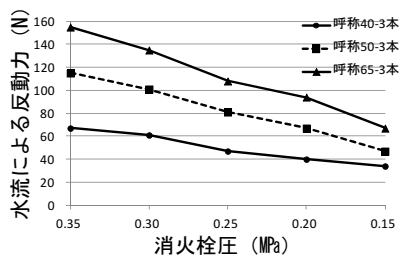


図 35 21型改ノズル

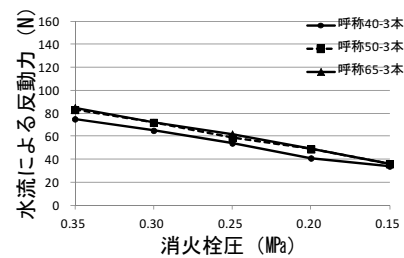


図 36 40ミリ噴霧ノズル

噴霧ノズルが効果的であると考えられる。

ア 21型及び21型改ノズルは口径が40ミリ噴霧ノズルと比較して大きく、同じ放水条件の下では放水量が多い。しかし、同時にホース内部の摩擦損失も大きく、摩擦損失の最も大きい呼称40では3階へ放水することはできなかった。また、呼称50及び呼称65においても今回想定した一部の放水条件で3階へ放水を到達させることはできなかった。一方、40ミリ噴霧ノズルを使用した場合は、21型及び21型改と比較してノズル口径が小さく同じ放水条件の下では放水量が少ない分ホース内部に生じる摩擦損失も小さくなり、射程が伸びた。このことから、今回想定した消火栓圧においては、3種のホースのどれを使用しても放水は3階へ到達した。なお、今回の実験で40ミリ噴霧ノズルを使用した場合の放水量の最低値は毎分73リットルであった。この放水量は、動力消防ポンプの技術上の規格を定める省令（昭和61年10月15日自治省令第24号）に定められたポンプ種別D-2級の規格放水量（毎分0.05立方メートル以上）を満たしていることから、消火に対する有効性は認められるものと考えられる。

イ 21型及び21型改ノズルは、40ミリ噴霧ノズルと比較してノズル口径が大きいため反動力が大きく、最大（呼称65-3本、消火栓圧0.35MPa）で155Nとなった。一方、40ミリ噴霧ノズルを使用した場合は、呼称40、呼称50及び呼称65を使用した場合の各消火栓圧での放水量及びノズル元圧に著しい差は認められず、放水に伴う水流による反動力は、85N以下に収まった。したがって、今回の実験において安定的に3階への放水が可能であり、21型及び21型改ノズルと比較し、反動力の小さい40ミリ噴霧ノズルの使用が効果的であると考えられる。

(2) ホース

今回の放水条件では、呼称40が効果的であると考えられる。

ノズルに21型又は21型改ノズルを使用した場合は、呼称65、呼称50の順で効果的であるが、呼称40と比較して摩擦損失が小さいことから、消火栓圧によっては、前述のとおり反動力が大きくなるとともに送水したホースの重量も重くなり、自主防災組織による活動には大きな負担となることが考えられる。一方、40ミリ噴霧ノズルを使用した場合は、呼称65、呼称50及び呼称40で放水量及びノズル元圧に著しい差は認められず、ほぼ同程度の放水性能を示した。したがって、比較的に取り扱いが容易な呼称40が効果的であると考えられる。

5 おわりに

本検証の実施に際しては、東京都水道局並びに世田谷区役所のご高邁な識見を賜り実施したものです。この場をお借りし厚く御礼申し上げます。

〔参考文献〕

- 1) (火災予防審議会答申) 地震時における地域消防活動と災害情報収集伝達体制のあり方について、平成21年3月、東京消防庁、p.38
- 2) 新・消防機器便覧<第1巻>、平成17年3月1日、東京消防機器研究会 編著、東京法令出版、p.106
- 3) 新・消防機器便覧<第1巻>、平成17年3月1日、東京消防機器研究会 編著、東京法令出版、p.401~402
- 4) 新・消防機器便覧<第1巻>、平成17年3月1日、東京消防機器研究会 編著、東京法令出版、p.402
- 5) 消防用ホースの技術上の規格を定める省令（昭和23年9月19日自治省令第27号）
- 6) 新・消防機器便覧<第1巻>、平成17年3月1日、東京消防機器研究会 編著、東京法令出版、p.210