

容積が小であるので、測定値に側壁の影響が入っている心配もあるので、現在、振動周期を変化しての実験と、さらに大きい容積の振動函による実験を準備中である。

なお、実験に当つては、大学院学生 藤本宏、教室員 諸隈正人の両君の助力を得た。また、振動台は三笠正人君の着想によるものであり、銅製振動函の製作には運輸省第四港湾建設部博多港工事事務所の御援助をい

ただいた。ここに深く感謝の意を表する。

本実験は文部省科学研究費により行つたことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 第3回工学大会講演論文集 p. 304~307
- 2) Trans. A.S.C.E., 1933 Vol. 98 p. 418

(昭.29.11.1)

寒中コンクリートの電気養生における 所要電力について

正 員 工学博士 一 木 保 夫*
准 員 松 井 司**

ELECTRIC POWER REQUIRED FOR ELECTRICAL CURING OF CONCRETE IN FREEZING WEATHER

(JSE June 1955)

Dr. Eng., Yasuo Ichiki, C.E. Member, Tsukasa Matsui, C.E. Assoc. Member

Synopsis Some experiments were made on electric power required for electrical curing of concrete in freezing weather, estimation of which is necessary for planning of electrical equipments, and method of estimation of the required electric power was induced, and relation between electric power and thickness of concrete was showed.

Here the case of surface arrangement of electrodes was treated, but this method of estimation can be applied for any type of arrangement of electrodes.

要旨 寒中コンクリートの電気養生を施工するにあつて電気設備にどれほどの電力を見込むことが必要であるかを実験的に求め、所要電力の計算方法を示し、表面配極の場合のコンクリートの厚さと所要電力との関係を求めた。ここでは表面配極の場合を取扱つたが、この計算方法によつていかなる電極配置の場合の所要電力の計算も可能である。

1. 緒 言

著者は前に寒中コンクリートの電気養生施工法に関連する主として材料学的な問題について述べたが、今回はその後行つた実験より、トランス、電線、スイッチ、電流計等の電気設備の計画に当つて必要とする所要電力の問題について述べる。

電気養生における所要電力についてはすでに数氏の実験があるが¹⁾、ここでは主として電流をコンクリートの表面に流す場合すなわち表面配極の場合を取扱つた。

コンクリートの表面に電極を配置して、主として電流をコンクリートの表面に流す場合の所要電力は、電

圧を一定とすれば、電極の間隔(ピッチ)、コンクリートの厚さ、フレッシュコンクリートの電気伝導性などによつて異なるはずである。この実験は、電圧、電極のピッチ、コンクリートの諸性質を一定として、コンクリートの厚さを変えたときに流れる電流を測定して、これより所要電力の計算方法を導き、さらに電極ピッチ及びコンクリートの厚さと所要電力との関係を求めるために行つたものである。さらに通電開始時の電流と最大電流との比率を求めた。

この研究に対しては文部省より科学試験研究費の交付を受けている。なお、この実験は昭和25年に当時土木科学生 山田義見君の卒業課題として行つたものであるが、著者の病気のため発表が遅れていたものである。

2. 実 験

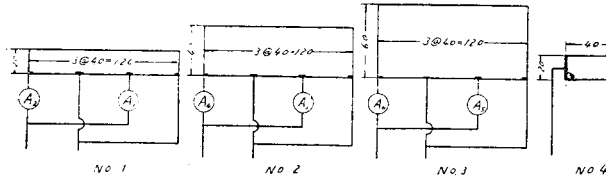
(1) 方法 供試体の種類は図-1に示す4種である。

すなわち No.1~No.3 はコンクリートの表面に電極を配置したもので、電極のピッチを40 cm とし、厚さを20 cm, 40 cm, 及び60 cm の3種に変えた。深さはいずれも20 cm であり、また電極には巾5 cm

* 北海道大学助教授 工学部土木教室

** 同 助手 同

図-1 供試体の種類



の薄い鉄板を使用した。No.4 はこれらと比較のため 20×20 cm のものに電極間隔 40 cm として向い合せて全面電極を配置したものである。電源は単相交流 100 V を使用した。

セメントは、普通ポルトランドセメントで、砂は札幌市豊平川産、砂利も札幌市豊平川産で大きさ 25 mm

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (cm)	スランプの範囲 (cm)	水セメント重比 W/C (%)	コンクリート 1 m ³ に用いるセメント量 C (kg)	コンクリート 1 m ³ に用いる水量 W (kg)	粗細骨材重量比 G/S	コンクリート 1 m ³ に用いる表面乾燥飽和状態の骨材重量 (kg)		
						全量	細骨材	粗骨材
2.5	5~8	60	314	188.4	2.0	1 992	664	1 328

図-2 供試体 No.1 測定結果

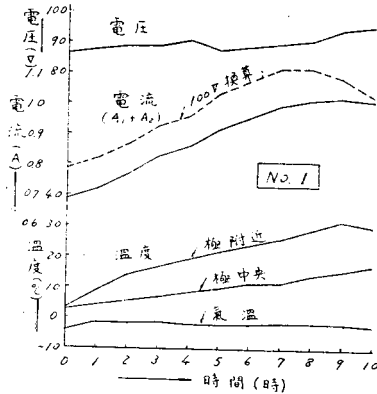
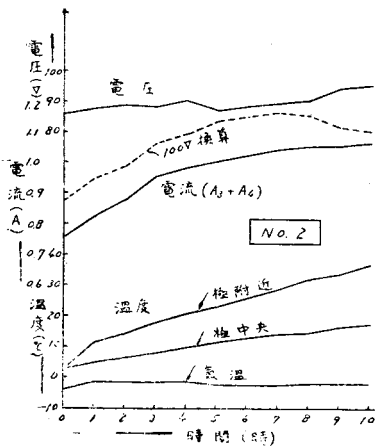


図-3 供試体 No.2 測定結果



以下のものを使用した。コンクリートの配合は表-1のごとくである。

実験は気温 0°C 以下のとき行つたので、水のみを加熱し、練り上り温度 5°C のコンクリートを得ようとした。

型枠への打込みは 2 層に分けて行い、φ16 mm の突棒でいずれの供試体も大体同じ程度の締固め効果となるように突固め、極板の付近は特にコテを用いて空隙のできぬようにスパイディングを行つた。

型枠は松の 4 分板を使用し、電極を配置した面以外のすべての面はツンドラ板で被覆し、熱の放散をなるべく少なくした。

1 時間おきに 図-1 に A₁~A₇ で示した位置で電流を測定し、またこの目的及び温度分布を調べる目的のためにコンクリートの各点の温度を測定した。

(2) 結果 電圧及び電流の測定結果は 図-2, 3, 4, 5 に示すようである。測定はなお続けたのである

図-4 供試体 No.3 測定結果

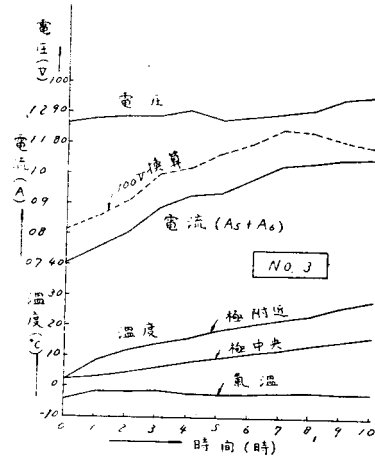
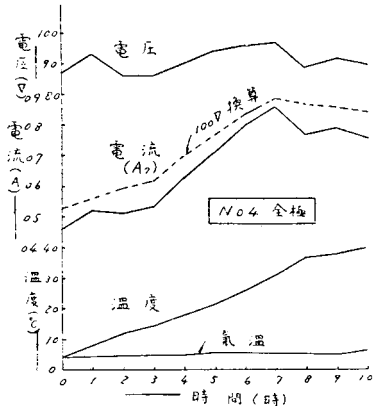


図-5 供試体 No.4 (全極) 測定結果



が、ここではコンクリートの電気抵抗が温度とともに減少し、最小抵抗を示して次にセメントの凝結による電気抵抗の増加を示すときの少しきき、すなわち通電開始より 10 時間までの測定結果を示す。

結果を比較するためには電圧 100 V のときの電流に換算し、破線で示した(図-2~5 参照)。

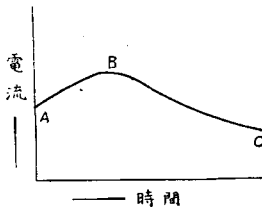
コンクリートの電気伝導度は温度によつて異なるから、電流の比較には常にそのときのコンクリートの温度を考慮しなければならない。

3. 通電開始時電流と最大電流との比較

コンクリートに電流を通じた場合、一般に電流は図-6 のように変化する。すなわちフレッシュコンクリートは通電開始とともに徐々に温度が上昇し、これにつれて電気抵抗が漸次減少し、点 B に達するまでは直線的に増加する。コンクリートの凝結が始まると電気抵抗が増し温度上昇による電気抵抗の減少を打ち消し、さらに硬化が進むにつれて電気抵抗は増大し流れる電流は減ずる。

この関係は主として電流をコンクリートの内部に通ず場合でも同じであつて、通電開始時の電流と最大電流との比率及び最大電流に達するまでの時間は、電気養生に必要な電気設備を計画するとき必要である。

図-6 電流の変化



試験結果からそれぞれの供試体について通電開始時の電流と最大電流との関係を求めてみると、表-3 のようになる。ただし、表中の電流の値は 100 V に換算した値であり、また供試体 No.1~No.3 の最大電流時の温度は配極表面より深さ 20 cm までにおけるものである。すなわち電流に大きな影響を及ぼす部分の温度だけをとつた。

この関係は、電極の配置、温度状態、材料の種類、コンクリートの配合、練り上り温度などによつて異なるが、この試験の結果では、いずれも通電開始後 7 時間で最大電流に達し、通電開始時電流に対する最大電

表-3 通電開始時電流と最大電流

供試体	通電開始時		最大電流時			最大電流 通電開始時電
	温度 (°C)	電流 (A)	通電後の 時間(h)	温度 (°C)	電流 (A)	
No.1	3.0	0.79	7	11~26	1.12	1.42
No.2	3.0	0.88	7	13~29	1.17	1.33
No.3	3.0	0.82	7	9~24	1.15	1.40
No.4 (全極)	4.5	0.53	7	30.5	0.88	1.66

流の値は、表面配極の場合 1.33~1.42 となつている。

また、測定結果には示してはないが、24 時間後の測定結果と、通電開始時電流に対する 24 時間目の電流の比率を求めてみると供試体 No.1 で 0.55, No.2 で 0.54, No.3 で 0.69 となつている。この関係も電気設備を行うとき大切なものである。

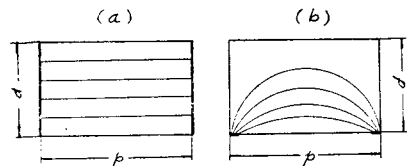
4. 所要電力の計算方法

いま 図-7 (a) のごとく、全極向い合せの場合には、深さを単位にとれば抵抗 R は

$$R = \rho \frac{p}{d}$$

で表わされる。ただし ρ はコンクリートの比抵抗である。

図-7 電流線



次に 図-7 (b) のごとく表面に部分極を配置した場合、2 本の相隣る電流線にはさまれた部分の抵抗を考える。 p/d が一定であれば電流線は相似的に変わるだけである。たとえば p あるいは d が n 倍になつたとすれば、2 本の相隣る電流線にはさまれた部分の長さが n 倍となり、断面積もまた n 倍となる。従つて抵抗にはなんら変化がないことになる。従つて全体についてもまた p/d が一定であれば抵抗は一定であるといふことができるのである。

前述のごとく (a) の全極の場合の抵抗は

$$R = \rho \frac{p}{d}$$

で表わされる。これと同様に (b) の表面部分極の場合の抵抗 r は次のようになる

$$r = \rho k \frac{p}{d}$$

$$k = \frac{r}{R}$$

で、すなわち全極の場合の抵抗と、これと同じ p/d をもつ部分極の場合の抵抗の比であつて、これをかりに抵抗比と呼ぶことにする。抵抗比 k の値は種々の p/d に対して実験的に求めることができる。

この実験から種々の d/p に対する抵抗比 k の値を求めてみると表-4 のごとくなる。表中の電流の () 内の値は更正値である。すなわち No.4 全極の場合に対しては前の報告に述べたフレッシュコンクリ

ートの温度 10°C の変化に対して抵抗値は 17.4% 増減するという結果から温度の更正を行つたものである。また No.2 及び No.3 に対しては、No.2 よりも No.3 の電流が少なくなることは不合理なのであつて、その平均をもつて更正値とした。なおこの電流の値は、電極の 1 ピッチに対するもので、供試体全体に対する電流の 1/3 をとつた値である。d/p≧2.0 以上の場合に対しては、電流を No.2 あるいは No.3 と同様 0.28 とつて k の値を求めた。

表-4 より d/p と k との関係を図示すれば 図-8 のごとくである。

表-4 種々の d/p に対する r/R=k の値

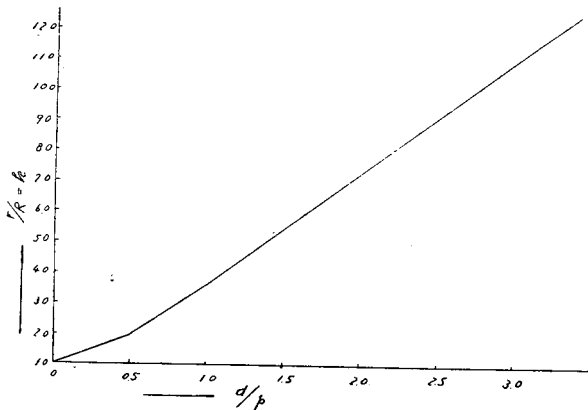
供試体	d/p	温度 (°C)	電流 (A)	r(Ω)	R(Ω)	r/R=k
No.4 全極	—	4.5 (3.0)	0.53 (0.515)	—	194	—
No.1	0.5	3.0	0.26	384	194	1.98
No.2	1.0	3.0	0.29 (0.28)	357	97	3.68
No.3	1.5	3.0	0.27 (0.28)	357	65	5.50
	2.0					7.33
	3.0					11.00

備考：() 内は更正値である

d/p が 1.0 までは曲線であるが、1.0 以上では直線で表わされる。

以上の関係より、表面部分極の場合の所要電力の計算が可能になるのであるが、その計算方法を実測をもつて説明する。

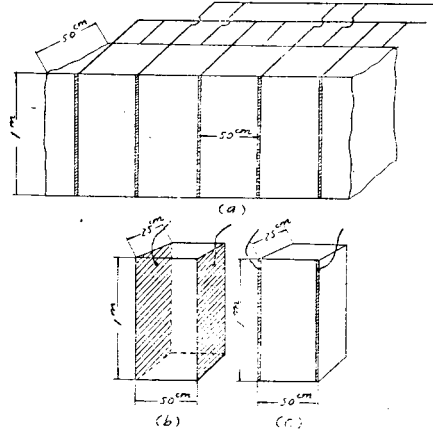
図-8 d/p と r/R=k との関係



いま 図-9 (a) のごとく、厚さ 50 cm の無筋コンクリートに、両表面に電極をピッチ 50 cm として配置し、100 V で通電する場合を考える。コンクリートの打ち上り高さは 1 m とする。

計算には 2 電極間の 1 ピッチを取り出して考え、厚さは両側に電極を配置するのであるから、全厚の 1/2

図-9 所要電力計算例



の 25 cm として考えればよい。

図-9 (b) のごとく全面に電極を当てた場合の抵抗 R は

$$R = \rho \frac{L}{A} = \rho \cdot \frac{50}{100 \times 25}$$

(c) のごとく、表面に細い電極を当てた場合の抵抗 r は d/p の比によつて異なり、この場合 d/p=25/50=0.5 であるから、図-8 より r/R=k≧2.0 である。すなわち r=2R である。

フレッシュコンクリートの比抵抗 ρ の値は、材料、配合、温度、水を加えてからの経過時間などによつて異なるが、いままでの実験からみて設計には安全側に最小の値として 1.0×10³Ω cm にとつてよいと考える (前掲の報告参照)。

従つてこの場合の r は

$$r = 2.0 R = 2.0 \rho \frac{50}{100 \times 25} = 2.0 \times 1000 \times \frac{50}{100 \times 25} = 40 \Omega$$

$$\text{ゆえに電流 } i = \frac{V}{r} = \frac{100}{40} = 2.5 \text{ A}$$

従つて両側を考えれば、1 ピッチ 50 cm を流れる電流は

$$2.5 \times 2 = 5 \text{ A}$$

となる。

いまかりにコンクリートの長さを 20 m とし、40 ピッチの電極を配置するものとすれば、1 m の打ち上り高さに対する全体の電流は

$$5 \times 40 = 200 \text{ A}$$

で、所要電力 20 kW となりこれだけの容量を有する設備をしなければならないことになる。

電圧 200 V 使用の場合は、電極ピッチを 100 V の

場合の約2倍にとつて同様な計算をすればよい。また電極を向い合せに配置したり、コンクリート内部に埋込む場合でもこれと同様な考え方によつて計算することができる。

5. 電極ピッチ及びコンクリートの厚さと所要電力との関係

図-10において、電圧 100 V, 比抵抗 $\rho=1.0 \times 10^3 \Omega \text{ cm}$, a

$=100\text{cm}$ とし、電極のピッチを30 cm, 40 cm 及び 50 cm に変え、またコンクリートの厚さを 5, 20, 40, 100 cm および 500 cm に変えて、前述の方法によつて流れる電流を計算し、これによりコンクリート 1 m³ あたりあるいは配極表

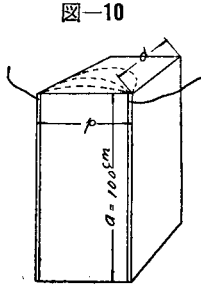


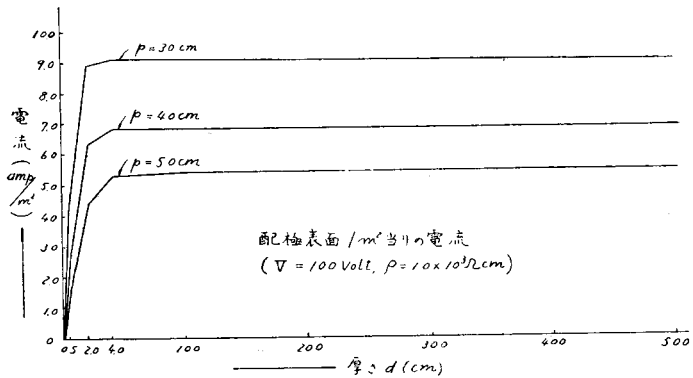
図-10

面 1 m² 当りの電流を求めるときは表-5のごとくになる。

表-5より d と p とコンクリート 1 m³ 当りの電流との関係を図示すれば、図-11のごとくである。

厚さ d とともに、1 m³ 当りの電流はいちじるしく減少することがわかる。すなわちマスコンクリートにおいては電流は表面近くにだけ流れるのであるから、

図-12 配極表面 1 m² 当りの電流



配極表面 1 m² 当りの電流
($V=100 \text{ Volt}$, $\rho=1.0 \times 10^3 \Omega \text{ cm}$)

表-5 電流計算
($V=100 \text{ V}$ $\rho=1.0 \times 10^3 \Omega \text{ cm}$ $a=100 \text{ cm}$)

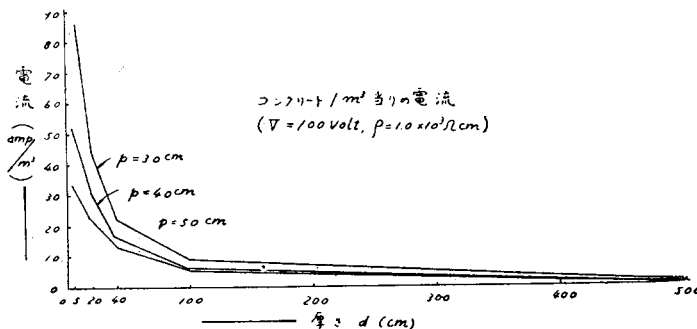
電極ピッチ p (cm)	厚さ d (cm)	d/p	k	$R(\Omega)$	$r(\Omega)$	$i(\text{Amp})$	$I(\text{Amp/m}^2)$	$I(\text{Amp/m}^2)$
30	5	0.167	1.3	60.0	78.0	1.28	85.3	4.3
	20	0.667	2.5	15.0	37.5	2.66	44.3	8.9
	40	1.333	4.9	7.5	36.8	2.72	22.6	9.1
	100	3.333	12.3	3.0	36.9	2.72	9.1	9.1
40	5	0.125	1.2	80.0	96.0	1.04	52.0	2.6
	20	0.500	2.0	20.0	40.0	2.50	31.3	6.3
	40	1.000	3.68	10.0	36.8	2.72	17.0	6.8
	100	2.500	9.2	4.0	36.8	2.72	6.8	6.8
50	5	0.100	1.2	100.0	120.0	0.83	33.2	1.7
	20	0.400	1.8	25.0	45.0	2.22	22.2	4.4
	40	0.800	3.0	12.5	37.5	2.66	13.3	5.3
	100	2.000	7.35	5.0	36.8	2.72	5.4	5.4
500	5	10.000	36.7	1.0	36.7	2.72	1.1	5.4

1 m³ あたりの電流をもつて表わすことは不合理であり、このような場合に対しては電極を配置した表面、すなわち配極表面 1 m² あたりの電流で表わした方が合理的である。図-12は d と p と 1 m² あたりで表わした電流との関係を示したものである。

図-12よりわかるごとく $d > p$ なるときは、配極表面 1 m² 当りの電流は一定となる。

土木学会コンクリート談話会で、昭和 23 年 11 月発表されたコンクリート電気養生施工方法指針によれば、主として電流をコンクリートの表面に流す場合のコンクリート 1 m³ 当り最大電力は 2.0~4.0 kW となつているが、これは前述のごとくコンクリートの厚さによつて非常に広範囲に変化するものである。表-5より、

図-11 コンクリート 1 m³ 当りの電流



コンクリート 1 m³ 当りの電流
($V=100 \text{ Volt}$, $\rho=1.0 \times 10^3 \Omega \text{ cm}$)

電圧 100 V 電極のピッチ 30~50 cm として、コンクリート 1 m³ 当りあるいは配極表面 1 m² 当りの最大電力を、種々の厚さ d に対して示すときは表-6のごとくなる。ただし厚さ d は、コンクリートの両面に電極を配置するときは、部材の厚さの 1/2 をとることになる。

消費電力量は、コンクリートの打込み温度、壊板の厚さ、気温、風速などによつて大なる影響を受ける

表-6 コンクリートの厚さと所要電力
(両面配極のときは d は部材の厚さの 1/2)

厚さ d (cm)	コンクリート 1m ³ 当り最大配極電気 (kW/m ³)	配極表面 1m ² 当り最大電力 (kW/m ²)
5	3.3 ~ 8.5	0.2 ~ 0.5
20	2.2 ~ 4.4	0.4 ~ 0.9
40	1.3 ~ 2.3	} 0.5 ~ 0.9
100	0.5 ~ 0.9	
500	0.1 ~ 0.2	

ものである。前掲指針においてはコンクリート 1m³ 当り 35~70 kWh と示されているが、これは上記の種々の条件によつて大いに変化し、少ないときはコンクリート 1m³ 当り 10 kWh 以下でも十分目的を達しうるのである。

6. 結 論

以上寒中コンクリートの電気養生における表面配極の場合の、電気設備の計画にあつて必要とする所要電力について述べたが、これを要約すれば次のとおりである。

(1) 通電開始時電流に対する最大電流の比率は種々の条件によつて異なり一概にはいえないが、大体的見当は表面配極の場合 1.3~1.4 程度である。

(2) 通電開始時電流に対する 24 時間経過後の電

流の比率も種々の条件によつて異なり一概にはいえないが 0.5~0.7 見当である。

(3) 全面配極の場合に対する電気抵抗比をもつて部分配極の場合の所要電力を求める方法について述べ、実例によつて計算方法を説明した。

(4) 電極ピッチを 100 V で 30~50 cm とし、コンクリートの厚さと所要電力との関係を、1m³ 当り及び 1m² 当りで表わして表-6 に示した。この場合のコンクリートの比抵抗は、これまでの実験における最小値よりもさらに小さくとつて安全側に計算してある。

(5) ここに述べた計算方法によつて、表面配極の場合にかぎらず、いかなる電極配置の場合の所要電力の計算も可能である。

参 考 文 献

- 1) 著者：寒中コンクリートの電気養生に関する実験，土木学会論文集第 5 号 (昭 25.11)
- 2) 板倉忠三：コンクリートの電気養生方法及び施工例，セメント・コンクリート No.44~49 (昭 25.10~26.3) 外数編
その他数氏の文献は、山田順治：寒中コンクリートに関する文献の紹介，セメント・コンクリート No.81 (昭.28.11) に紹介されている。
(昭 29.11.3)

混合交通流における三車線道路の 追い越し確率について

正 員 米 谷 栄 二*

PASSING PROBABILITY OF VEHICLES ON A THREE-LANE HIGHWAY UNDER MIXED TRAFFIC

(JSCE June 1955)

Eiji Kometani, C.E. Member

Synopsis I found a formula of the passing probability of vehicles for the three-lane roads under mixed traffic.

At first, considering a mixed traffic consisted of vehicles of two different speeds, I reduced a formula of the passable probability as in the case of the two-lane roads. Next, under the mixed traffic of R classes of vehicle speeds, a generalized formula of the passing probability was made available. Finally, in order to investigate the appropriateness of these expressions, I made some field observations on several highways. And thus, I could clarify the usefulness of my results above obtained.

要旨 三車線道路に高速車と低速車が混合して走行する場合の追い越し確率を導いた。はじめに 2 種類の混合交通と考へて、二車線道路の場合と同様に追い越し可能確率を導き、次に R 種類の混合交通を考へて、低速車間においても追い越しが行われていることを考

慮に入れた最も一般的な追い越し可能確率の式を導いた。最後にここに求めた式の妥当性を検討するために若干の路線について実測を行つて、実測値と計算値を比較しその有用性を確かめることができた。

1. 三車線道路

ここで考察しようとする三車線道路とは、車線巾員が

* 京都大学助教授 工学部土木工学教室