

NOx 放出基準(2 次規制)値の検算で指数 0.23 乗を含む式の手計算

北海道開発局函館開発建設部 正会員 ○高村 章

1. 工事の総合評価落札方式の加点項目概要と環境性能の高い作業船の確認方法（目的）

国土交通省の工事では、標準的に総合評価落札方式を適用している。総合評価の加点項目は、企業と配置予定技術者の同種工事に工事成績と表彰、記述課題、企業の地域条件などから選定され、企業が提出した資料より競争参加資格を含めて確認し加点する。これに港湾及び漁港で作業船を使用する工事¹⁾のうち対象工事では、企業が保有する作業船を対象工事への使用申請で加点し、それが環境性能の高い作業船又は新造船であれば更に加点する。環境性能の高い作業船は国際大気汚染防止原動機証書²⁾で確認するが、この証書以外などの無証明の資料で NOx 放出基準値を確認するなら、指数 0.23 乗を含む式での検算が必要となる。

2. 国際大気汚染防止原動機証書と窒素酸化物の放出量に係る放出基準（方法）

環境性能の高い作業船は、作業船の原動機に交付された国際大気汚染防止原動機証書の中で、NOx 放出基準値と原動機の放出値で確認する。このうち、NOx 放出基準(2 次規制)値の検算を想定し、下限 7.7(R≧2000)と上限 14.4(R<130)間の手計算(電卓と汎用諸表は使用)を試みたものである。

表 1 海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律施行令 第十一条の七の同表抜粋

放出海域	原動機の種類、能力及び用途	窒素酸化物の放出量に係る放出基準
二 前号に掲げる海域以外の海域	ロ ディーゼル機関であつて、定格出力が百三十キロワットを超え、かつ、定格回転数が毎分百三十回転以上二千回転未満のもの（特定用途原動機に該当するものを除く。）	一キロワット時当たりの窒素酸化物の放出量の値が四十四を当該原動機の毎分の定格回転数の値を○・二三乗して得た値で除して得た値以下であること。

今回対象の式とその条件は表 1 のとおりで、(1)式となる。なお、値は第 2 位を四捨五入²⁾である。

$$NOx = 44 / (R^{0.23}) = 44 \times R^{-0.23} \quad (130 \leq R < 2000) \quad - (1)$$

NOx, g/kWh : 1kWh 当たりの窒素酸化物の放出量, R, rpm : 当該原動機の毎分の定格回転数

3. 指数 0.23 乗を含む式の手計算（結果）

手計算するため、指数関数を対数関数にし、常用対数(log₁₀はlogと表現)を用いると次の(2)式となる。

$$0.23 = \log_R(44 / NOx) = \log 44 / \log R - \log NOx / \log R \quad - (2)$$

式を整理し、常用対数表³⁾(汎用 4 桁の場合 log1.1=0.0414、log2=0.3010)から(2)’式となる。

$$\log NOx = \log 1.1 + 2 \log 2 + \log 10 - 0.23 \times \log R = 1.6434 - 0.23 \times \log R \quad - (2)'$$

logR から logNOx が求まる式となる。例えば R=130 で、log130=log(1.3×10²)=log1.3+2log10 となり、常用対数表(log1.3=0.1139)から、logNOx=1.157203=1+0.157203 が求まる。0.157203 は、常用対数表で log1.43=0.1553 と log1.44=0.1584 の間なので、logNOx=log10+log(1.43~1.44)=log(14.3~14.4) となり、NOx=14.3~14.4 と幅を持つ計算結果となった。

4. 早見表の例と近似式（考察）

検算では幅を持つ精度でもよいが、四則演算に加えて数学公式と常用対数表が必要と手間を要するので、表計算ソフトで表 2 の早見表の例を作成した。更に早見表の作成過程でまるめ無しの R 値 1870 個全て得られる。

そこで、近似式も試し、表 3 に近似式の形と精度をまとめた。一次微分の逆数 1/(dNOx/dR)での一次近似式で R²=0.99 以上でも、正規の値との比較で±0.1 の差が部分的に生じる。1/(dNOx/dR)から不定積分∫1/(aR+b)した二次近似式の相関係数が 1 でも、正規の値との比較で±0.1 の差が一部生じる。二次近似で再現が不完全で、三次近似以降で完全一致できても、常用対数で行う正規の計算の方がよいだろう。

また、船用ディーゼルエンジンのカタログから実存する回転数⁴⁾を選定し、最大最小を追加し、表 4 の主要値早見表の例を作成した。

キーワード 総合評価落札方式, 環境性能の高い作業船, 放出基準, 指数, 手計算

連絡先 〒040-8501 北海道函館市大川町 1-27 TEL 0138-42-7685

表 2 早見表の例（縦 14-7：放出基準整数、横 9-0：放出基準小数第 1 位、表中：回転数範囲）

	.9	.8	.7	.6	.5	.4	.3	.2	.1	.0
14						130	131- 134	135- 138	139- 143	144- 147
13	148- 152	153- 157	158- 162	163- 167	168- 172	173- 178	179- 184	185- 190	191- 197	198- 203
12	204- 210	211- 218	219- 225	226- 233	234- 242	243- 250	251- 259	260- 269	270- 278	279- 289
11	290- 299	300- 311	312- 323	324- 335	336- 348	349- 361	362- 376	377- 390	391- 406	407- 422
10	423- 440	441- 458	459- 477	478- 497	498- 518	519- 540	541- 563	564- 588	589- 614	615- 641
9	642- 670	671- 700	701- 732	733- 766	767- 802	803- 840	841- 880	881- 923	924- 968	969- 1016
8	1017- 1067	1068- 1121	1122- 1178	1179- 1239	1240- 1305	1306- 1374	1375- 1448	1449- 1527	1528- 1611	1612- 1701
7	1702- 1797	1798- 1900	1901- 1999							

表 3 近似式と精度（回転数 R の値は、第 2 位を四捨五入）

	1/(dNOx/dR) =a×R+b ΔR=1 のとき	NOx= ∫ 1/(aR+b)=A×logR+B		※1 の NOx と a,b の相関より	
		NOx ※1 =a×logR+b	NOx=a×(logR) ² +b×logR+c	NOx =a/logR+b	NOx=a/(logR) ² +b/logR+c
近似, 相関係数	一次, 0.996	一次, 0.993	二次, 1	一次, 0.999	二次, 1
±0.1 の範囲数	1869(差の全数)	1491	1870(全数)	1832	1870(全数)
0.1 少+多の数	147+9	397+647	78+33	379+287	20+14
同じ値の数	1713	447	1759	1166	1836

表 4 主要値早見表の例

回転数	～130	720	750	800	850	900	1000
放出基準	14.4	9.7	9.6	9.5	9.3	9.2	9.0
回転数	1200	1350	1400	1450	1500	1800	1901～
放出基準	8.6	8.4	8.3	8.2	8.2	7.8	7.7

5. 平方根による近似式の手計算で検算（まとめ）

0.25 乗は 1/4(=1/2²) 乗、⁴√ (4 乗根, 4 の累乗根) で、電卓の√を 2 回で計算できる。0.23 を 1/8(=1/2³) 乗 + 1/16(=1/2⁴) 乗…と加算(但し 0.23 を超える加算値は抜く)し、a^{m+n}=a^m×aⁿ より近似の計算をした。

0.23 ≒ 0.125+0.0625+0.03125+0.0078125+0.001953125… ≒ 1/2³+1/2⁴+1/2⁵+1/2⁷+1/2⁹…
1/2²³ 乗までの加算で正規の値との差が全て 0 となった。簡便に a^{m-n}=a^m/aⁿ より 0.23=0.25-0.02 とし、0.02 に近似した減算で式(3)となる。正規の値との差-0.1 はあるが、手計算(電卓使用)で検算ができる。

0.23 ≒ 0.25－(0.015625+0.00390625) ≒ 1/4－(1/64+1/256) ≒ 1/2²－(1/2⁶+1/2⁸)

NOx = 44／(R^{0.23}) ≒ 44／(R^{1/4}／(R^{1/64}×R^{1/256})) ≒ 44×R^{1/256}×R^{1/64}／R^{1/4} － (3)

参考文献

1) 北海道開発局事業振興部工事管理課, 令和 4 年 8 月, 総合評価落札方式の考え方について, 33-36 , 北海道開発局 HP > 入札・契約・仕様書等 > 総合評価落札方式について

2) 国土交通省海事局, 2010, 原動機の放出量確認等業務要領(海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律), (一社)日本船舶品質管理協会 HP 海事だより I 条約、法律、省令、告示等の改正関係 29 原動機の放出量確認等業務要領の制定について 2010. 6. 28

3) 東京書籍, 2022, 常用対数表(1)(2), 242-243, 数学Ⅱ Standard

4) YANMAR, 2022 年 6 月, PRODUCT GUIDE MARINE DIESEL ENGINE 船用主機 機関出力[374～4500kW] 船用補機 発電機容量[180～4600kWe]