

風洞実験の代替手段としての数値モデルの適用性研究

風洞実験と同等の結果を短期間・低コストで得るために

Study on the Applicability of Numerical Models as an Alternative to Wind Tunnel Tests

To achieve results equivalent to those of a wind tunnel test at a low cost in a short time

(原子力安全技術研究所 プラントG)

(Plant Group, Nuclear Safety Research and Development Center)

排ガス拡散評価のための風洞実験の代替として数値モデルによる計算が注目されている。そのため、日本原子力学会標準にもとづき浜岡原子力発電所を対象とした数値モデルを構築し、風洞実験の代替手段としての適用性を検討した。

As an alternative to wind tunnel tests for the assessment of exhaust gas diffusion, calculation based on numerical models is attracting attention. Therefore, we have constructed numerical models for the Hamaoka Nuclear Power Plant based on the standards provided by the Atomic Energy Society of Japan and examined the applicability of those numerical models as an alternative to wind tunnel tests.

1 背景と目的

平常運転時および事故時において原子力施設内から放射性物質が放出された場合の公衆被ばく線量は、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針（以下、気象指針）」にもとづいて、大気中における放射性物質の拡散状態を推定し、放射性物質の地表空気中濃度を解析することで評価する。また、施設内から放出される放射性物質は、敷地内の建屋や周辺の地形の影響を受けながら拡散していくと考えられるため、気象指針では敷地の地形が複雑な場合または放出源に対する建屋等の影響が著しいと予想される場合には、風洞実験にて放出源の有効高さ等の妥当性を検討することになっている。

一方、現在では風洞実験の代替手段として数値モデルによる計算（数値シミュレーション）が注目されており、その手法と実施基準が平成24年8月に日本原子力学会標準「発電用原子炉施設の安全解析における放出源の有効高さを求めるための数値モデル計算実施基準」として整備された。

近年の計算機の高速化、低価格化、記憶装置の大容量化により、従来では多くの時間を要していた大規模な数値モデルによる計算が比較的短時間で可能となりつつあり、風洞実験と同等な結果を低コストで得ることが十分期待できる。

そこで、日本原子力学会標準にもとづき浜岡原子力発電所を対象に最適化した数値モデルを構築し、風洞実験の代替手段としての適用性を検討した。

2 研究の概要

(1) 数値モデルおよび評価手法の調査・整理

既存の文献を参考にしてモデルの特徴を比較し、風洞実験を代替する上で有効な数値モデルおよび評価手法を調査・整理した。

乱流モデルを利用した数値シミュレーションの手法は、RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes

Simulation) とLES (Large Eddy Simulation) の2種類に大きく分類され、それぞれのモデルの利点と欠点を整理・比較した結果、LESは格子幅を適切に設定すれば精度の高い計算ができ、再現性が高いことが確認されたため、LESを採用した。

また、数値計算の方法、境界条件や初期条件の設定など、地表付近の流れの数値計算に必要な数値モデルの前提条件を整理した。

(2) 数値モデルの検証と妥当性確認

数値モデルの検証では、平地条件による大気安定度がほぼ中立の気流および拡散条件が再現でき、日本原子力学会標準による性能評価基準を満足し、風洞実験との整合性が確認された。

数値モデルの妥当性確認では、直方体建屋等の単純形状の建屋を対象にした気流および拡散状態の再現計算、ならびに風洞実験結果との比較を行った結果、数値シミュレーションから得られた建屋後流の風下方向地表煙軸濃度分布は、風洞実験結果と非常に良く一致していることを確認した。

また、地表煙軸濃度の実験値に対して計算値が0.5倍～2倍以内に収まる割合 (FAC2) は100%となり、数値モデルの性能基準に関するEUガイドライン (COST732) の性能基準「地表煙軸濃度のFAC2は89%以上」を満たすことを確認したことから、本研究で用いる数値モデルは妥当であると判断した。

(3) 数値モデルの構築

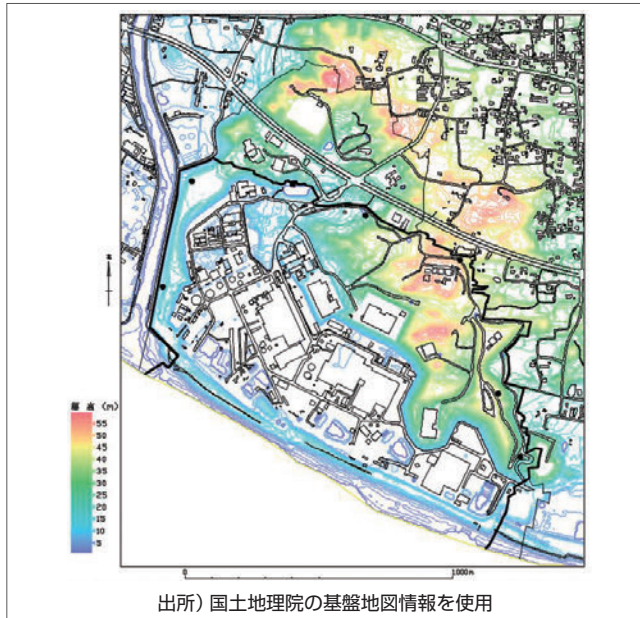
数値モデルの構築では、敷地周辺地形のモデル化のためのデータ処理手法の調査、地形データに建屋構築物モデルを加えるための情報の整理、ならびに敷地周辺をモデル化するための計算領域および計算格子の検討を行った。

敷地周辺の地形データには、国土地理院の基盤地図情報を利用し、これをCADデータ変換ツールにてCADデータ化した。

敷地内建造物の情報は、浜岡原子力発電所を対象に実施された風洞実験で用いられた模型寸法を利用し、敷地

周辺地形のモデル化で作成したCADデータを用いて、浜岡原子力発電所の外観を作成し、CADデータと建屋情報の整合性を確認した。

ここで検討した方法をベースとして、地形・建屋計算の数値シミュレーションで利用する浜岡原子力発電所周辺の標高データを作成した（第1図）。



第1図 浜岡原子力発電所の標高データ

(4) 風洞実験の再現計算と数値モデルの再現性評価

風洞実験の再現性を確認するため、平地計算と建屋・地形計算における地表煙軸濃度分布を比較し、放出源の有効高さを評価した。最大濃度軸線上の濃度で評価した場合、想定事故を対象とした南風（風向S、着目方位N）の放出源有効高さは、評価地点680mの方位軸線上および最大濃度軸線上とも風洞実験より低い結果となった。また、西風（風向W、着目方位E）の放出源有効高さについても、評価地点520mの方位軸線上および最大濃度軸線上とも風洞実験より低い結果となり（第1表）、いずれも、数値モデルで評価された放出源有効高さは、風洞実験より低く、安全解析の観点で安全側の評価結果となった。

第1表 想定事故時放出源有効高さ評価結果

風向	着目方位	放出源高さ (m)	評価地点 (m)	有効高さ (m)		
				数値モデル		風洞実験
				方位軸線	最大軸線	
S	N	100	680	60	50	65
			970	50	50	66
W	E	100	520	60	55	62

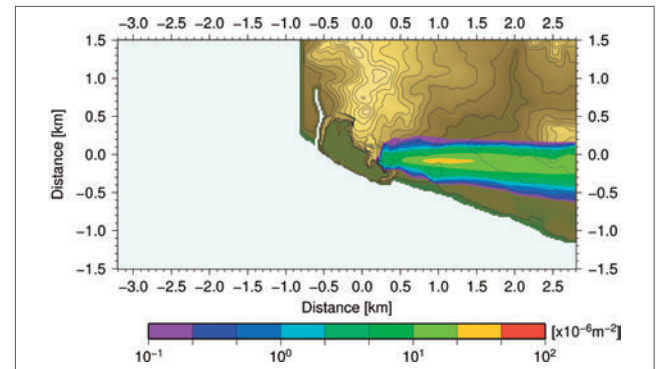
(5) 地表空气中濃度分布の評価

排気筒の高さが放出源に隣接して設置する建屋高さの2.5倍に満たない場合は、建屋等の影響が著しいと考え

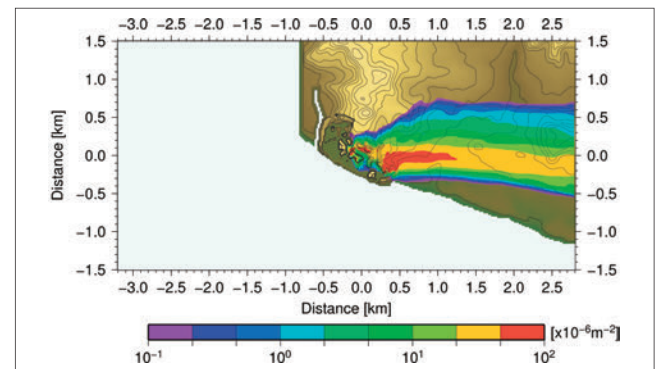
られている。浜岡4号機の場合、排気筒高さ100mに対して、隣接する浜岡4号機原子炉建屋の高さは45.1mであり、排気筒の高さは隣接建屋高さの2.2倍で建屋等の影響が著しいと予想される。

そこで、浜岡原子力発電所構内の構造物・建屋を除いた地形データを用いた数値シミュレーションを実施し、地表空气中濃度分布について、構造物・建屋ありの場合との相違を確認した結果、構造物・建屋が存在しない場合の地表空气中濃度分布は平地計算とおおむね同等であるが（第2図）、構造物・建屋がある場合は構造物・建屋により気流が変化し、浮遊物質が放出源により近い距離で地表付近へ移流・拡散されることがわかった（第3図）。

すなわち、放出源に近い構造物・建屋の影響は著しいことが確認できた。



第2図 地表空气中濃度分布(西風：構造物・建屋なし)



第3図 地表空气中濃度分布(西風：構造物・建屋あり)

3 まとめ

計算精度に影響する格子サイズの検討など今後の課題はあるが、浜岡原子力発電所を対象とした放出源の有効高さを求めるための数値モデルが、風洞実験の代替手段として有効であることが確認できた。

将来的には、発電用原子炉施設の安全解析の一環として実施される平常運転時および想定事故時の周辺公衆の被ばく線量評価に用いる放出源の有効性高さを求めるための風洞実験の代替手段として活用することができる。



執筆者／松井計雄